

Étude de la dispersion et de la prédation des graines par les rongeurs des genres *Cricetomys* et *Funisciurus* en forêt dense humide camerounaise

Auteur : Algrain, Marine

Promoteur(s) : Doucet, Jean-Louis; 2706

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/6273>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**ÉTUDE DE LA DISPERSION ET DE LA
PRÉDATION DES GRAINES PAR LES
RONGEURS DES GENRES *CRICETOMYS* ET
FUNISCIURUS EN FORÊT DENSE HUMIDE
CAMEROUNAISE**

MARINE ALGRAIN

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

CO-PROMOTEURS: DOUCET JEAN-LOUIS & EVRARD QUENTIN

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège – Faculté Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**ÉTUDE DE LA DISPERSION ET DE LA
PRÉDATION DES GRAINES PAR LES
RONGEURS DES GENRES *CRICETOMYS* ET
FUNISCIURUS EN FORÊT DENSE HUMIDE
CAMEROUNAISE**

MARINE ALGRAIN

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

CO-PROMOTEURS: DOUCET JEAN-LOUIS & EVRARD QUENTIN

Université de Liège/Faculté Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Gestion des
Ressources Forestières et des Milieux Naturels – Laboratoire de Foresterie des
Régions Tropicales et Subtropicales
Passage des Déportés, 2
BE-5030 Gembloux
Belgique



Gembloux Agro-Bio Tech
Université de Liège

Société d'exploitation forestière *Pallisco*
Avenue des Cocotiers, 478
PO Box 394 Douala
Cameroun



Nature+asbl
Winstar Park. Rue Provinciale, 62
BE-1301 Wavre
Belgique





ACADÉMIE
DE RECHERCHE ET
D'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR

Le voyage réalisé dans le cadre du présent travail a été rendu possible grâce au soutien financier de l'Académie de recherche et d'enseignement supérieur de la Fédération Wallonie-Bruxelles, Belgique, dans le cadre de sa politique de Coopération au développement.

Remerciements

J'aimerais remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce TFE et je tiens à citer les personnes dont le soutien m'a particulièrement marquée.

Pour commencer, je souhaite vivement remercier mes co-promoteurs, Messieurs Jean-Louis DOUCET et Quentin EVRARD pour leur suivi, leur travail de relecture, leurs conseils et l'aide qu'ils m'ont apportée tout au long de ce TFE. Et, plus encore, Monsieur Doucet qui m'a permis d'utiliser du matériel innovant pour ce travail via le budget P3FAC.

Un très grand et cordial merci à Monsieur Georges LOGNAY qui a enrichi ce TFE en analysant et en interprétant les spectres de masses des arilles de l'ilomba et du niové. La superbe note explicative qu'il a rédigée est insérée dans ce travail.

Je tiens également à remercier tous les organismes qui m'ont soutenue, dont l'asbl Nature+ pour son aide logistique et administrative et en particulier pour le soutien de :

- Monsieur Kasso DAÏNOU (Responsable Programme « Sylviculture - Dynamique forestière - Recherche appliquée » - Nature+),
- Monsieur Charles BRACKE (Directeur - Nature+),
- Monsieur Bonaventure SONKÉ (Administrateur – Nature+), grâce à qui j'ai pu ramener mes graines en Belgique.

J'adresse en parallèle un tout grand merci à la société d'exploitation forestière PALLISCO qui m'a accueillie, hébergée, encadrée et même nourrie durant les deux mois de terrain. Avec des remerciements plus spécifiques pour :

- le directeur de site, Monsieur Paul LAGOUE, pour son bon accueil (et les soirées ambiancées dans son rôle de DJ),
- le chef de l'équipe « Recherche scientifique et reboisement », Monsieur Yannick NKOULOU, pour son encadrement,
- mon équipe terrain : Messieurs Samdjo'o MARIUS, Eddy MARTIAL et, plus particulièrement, Franky ANGONG NTONGA qui a été, tour à tour, mon GPS, mes bras et ma tête quand je n'arrivais plus à réfléchir,
- Monsieur Maxime SERVOTTE pour son aide précieuse (fruits pour graines à marquer, moyens de locomotion, ordres de mission, etc.),
- Madame Julie LAURENT pour le soutien administratif et nos chouettes moments « conversation » dans ce monde masculin,
- Ismaël, Edouard, Blaise et tous les cuistots pour leurs délicieux repas,
- Ismaël, Big Ben, Clothier, Ernest, Herman et tous les chauffeurs m'ayant transportée, sauvée de la pluie, mettant ainsi fin à ma lente agonie en bord de route,
- Irène, Azor, François, Jordan, Pierre et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à cette aventure camerounaise.

Je remercie aussi mes compagnons gembloutois : Nassim, Sergio, Pierre et Samuel pour les bons moments passés ensemble à la base vie 1 ainsi que Killian, mon compagnon tout du long, sans qui je me serais sentie bien seule.

Avant mon départ, de nombreuses personnes et organismes m'ont aidée à rassembler le matériel nécessaire à l'étude ainsi qu'à financer en partie le voyage, je pense notamment :

- au projet P3FAC (Partenariat Public / Privé pour la gestion durable des Forêts d'Afrique Centrale) qui m'a offert l'opportunité d'utiliser un « détecteur » RFID, des PIT tags, un détecteur magnétique et des aimants afin de retrouver les graines dispersées,
- à la bourse ARES (l'Académie de Recherche et d'Enseignement supérieur de la Fédération Wallonie-Bruxelles, Belgique) qui a financé mon billet d'avion,
- à l'Axe de Gestion des Ressources Forestières pour le prêt de matériel, et plus précisément Messieurs Cédric GEERTS et Alain MONSEUR. Un tout grand merci à Madame Marie FOMBONA qui s'est occupée de commander, en urgence, le matériel avant mon départ au Cameroun,
- à Madame Sophie VANCRAENENBROECK pour la dilution de la sulcatone au Laboratoire de Chimie Analytique,
- à un prêt de détecteur de métaux par l'Unité de Biodiversité et Paysage, afin d'effectuer des tests sur les conseils de Monsieur Arnaud MONTY, qui m'a également prêté une lampe UV.

Un grand merci également à toute l'équipe du Laboratoire de foresterie tropicale pour la bonne ambiance de travail et en particulier à

- Monsieur Jean-Yves DE VLEESCHOUWER pour son aide dans les démarches administratives et organisationnelles, les prêts de matériel, livres, clés pour l'accès à la carpothèque de Gembloux Agro-Bio Tech,
- Monsieur Félicien TOSSO pour ses aides diverses et précieuses, dont notamment des explications concernant la sulcatone,
- Messieurs Davy FONTEYN, Simon LHOEST, Chauvelin DOUH, entre autres pour leurs réponses à mes questions parfois naïves.

Je remercie Monsieur Isaac YOUB (société Precious Woods), Monsieur Jean-François GILLET ainsi que Monsieur Olivier HARDY et Madame Nina VANKERCKHOVE (chercheur et étudiante - Unité de recherche d'Evolution Biologique et Ecologie (ULB)) qui, par leur apport de graines de doussié, m'ont permis de réaliser des essais à une période hors fructification de ces graines au Cameroun.

Au retour, Monsieur Thierry VANDERBORGHT et Madame Ann VAN DE VYVER (travaillant à la banque de graine du Jardin Botanique de Meise) ont réalisé le seed cut test sur les graines en bon état ramenées du Cameroun, je les en remercie.

Un grand merci, à nouveau, à Messieurs Jean-Louis DOUCET et Jean-François GILLET ainsi qu'à Madame Barbara HAUREZ, Messieurs Donatien ZEBAZE, Franck TROLLIET, Sertillanges Bienvenu ANGO pour leur assistance dans l'identification des graines.

Aussi, merci à Monsieur Arnaud MONTY et à Madame Adeline FAYOLLE qui ont, non seulement accepté d'évaluer ce travail, mais m'ont également donné de bons conseils lors de la construction théorique de l'étude.

Merci à M. Jacques MIGNON pour son soutien à la bibliothèque et à Mme Anne-Catherine DALCQ pour ses conseils et ses explications statistiques.

Enfin, je souhaite également remercier toute ma famille et les amis qui m'ont soutenue tout au long de ces études, qui étaient là pour gérer mes doutes et mon stress. Avec en première ligne sur le front : maman et son infailible ou incorrigible dévouement. Merci à Marie sans qui je serais encore en PLS avant d'aller à un examen, merci pour tous les « Tea time », fous rires et craquages en tout genre. Merci à Arthuro dont la seule présence me permet de refaire le plein d'énergie positive. Merci

à toute la promo GFEN 2018, j'ai eu beaucoup de chance de vous avoir dans cette option choisie sur le tard, je ne regretterai jamais d'avoir rejoint un team de gentils bisounours. Merci à Zazou et à Chup pour avoir rendu août plus supportable. Et pour terminer, merci à Tomate de m'avoir réconfortée et encouragée.

Résumé

Algrain M., 2019. *Étude de la dispersion et de la prédation des graines par les rongeurs des genres *Cricetomys* et *Funisciurus* en forêt dense humide camerounaise*. Travail de fin d'études, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège.

La grande majorité des arbres en forêt dense humide tropicale sont dispersés par des frugivores. Le rôle des rongeurs dans la dispersion des graines a jusqu'à présent été très peu documenté dans les forêts denses humides africaines. Or, les rongeurs sont moins touchés par la chasse sélective et pourraient donc avoir un rôle d'autant plus important dans la dispersion des graines de certaines essences.

Réalisé en forêt dense humide semi-caducifoliée camerounaise, au sein d'une concession forestière certifiée FSC, ce travail ambitionne d'approfondir les connaissances sur les rôles de deux espèces de rongeurs africains, *Cricetomys emini* et *Funisciurus pyrropus*, en tant que disperseurs de graines. En parallèle, l'efficacité de trois méthodes de marquage de graines pour le suivi de la dispersion a été appréhendée. Enfin, l'interaction avec des molécules olfactives a également été explorée via la mise en place d'une molécule attractive, la sulcatone, et via une étude préliminaire des volatils émis par l'arille de deux essences de la famille des *Myristicaceae*. Au total 454 graines ont été marquées à l'aide d'aimants/de fils fluorescents/de PIT tags dans le but d'obtenir des informations sur la dispersion via la détection avec un détecteur magnétique/une lampe UV/une antenne et un lecteur RFID. Enfin, des cachettes des deux espèces de rongeurs ont été fouillées et les graines présentes ont été identifiées.

Cette étude a montré un comportement de scatter-hoarder pour *F. pyrropus* avec des graines retrouvées jusqu'à 37m et 4% des graines marquées récupérées entières et enterrées à max. 10 cm de profondeur. Les caches de *F. pyrropus* présentaient 30% de graines potentiellement viables. Les graines emportées par *C. emini* n'ont pas été retrouvées dans un rayon de 50m, ce qui laisse présager une dispersion supérieure à 50m. Les terriers de *C. emini* contenaient 35% de graines entières et 6% de graines potentiellement viables ou viables.

Le détecteur magnétique présentait l'avantage d'être plus aisé à manipuler dans la végétation, de détecter des tags plus rapidement et plus profondément dans le sol. Cependant, il nécessite un sol approprié, est gênant pour *C. emini* car les aimants sortent des graines pour s'accoler les uns aux autres dans ses poches jugales, et le détecteur donne de faux-positifs. A l'inverse, le système RFID ne donne pas de faux-positifs et les PIT tags possèdent un identifiant unique, ils peuvent être retrouvés moins profondément que les aimants mais ne gênent pas les rongeurs. Les fils gênaient fortement *C. emini* et *F. pyrropus*, étaient moins faciles à retrouver mais présentent l'avantage d'être très peu coûteux.

Les profils en VOCs des diaspores des deux espèces de *Myristicaceae* sont très complexes et c'est probablement dans leur globalité qu'ils pourraient avoir un effet olfactif sur les rongeurs. Il y avait une dépendance significative dans l'enlèvement des graines selon que la sulcatone soit présente ou pas.

Mots-clés : Dispersion, rongeurs, *Cricetomys emini*, *Funisciurus pyrropus*, forêts tropicales, RFID, détection magnétique, « *traditional thread tags* », VOCs.

Abstract

Algrain M., 2019. *Study of seed dispersal and predation by rodents of the genera Cricetomys and Funisciurus in dense Cameroonian rainforest*. Master thesis, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège.

Most of tropical rainforest tree species are dispersed by animals. The role of rodents in seed dispersal has been poorly documented in African rainforests. Considering that rodents are less affected than large mammals by selective hunting, they could therefore play a crucial role in seed dispersal of some species.

This study was carried out in a moist semi-deciduous forest in Cameroon, within an FSC-certified forest concession. This work aimed to deepen knowledge on the roles of two African rodent species, *Cricetomys emini* and *Funisciurus pyrropus*, in seed dispersal. In parallel, the effectiveness of three seed marking methods for monitoring dispersion was assessed. Interaction with olfactory molecules was also explored through the introduction of an attractive molecule, the sulcatone, to promote seed removal by rodents and through a preliminary study of the volatiles emitted by the arils of two species of the *Myristicaceae* family. A total of 454 seeds were marked with magnets/fluorescent thread tags/PIT tags in order to obtain dispersion data via detection with a magnetic detector/UV lamp/RFID system. Finally, hoards of both rodent species were searched and the seeds within were identified.

This study showed a scatter-hoarder behaviour for *F. pyrropus* with seeds found up to 37m and 4% of the marked seeds recovered whole and buried at a maximum depth of 10 cm. The caches of *F. pyrropus* contained 30% potentially viable seeds. The seeds taken away by *C. emini* were not found within a radius of 50m, which suggests a dispersal distance greater than 50m. Thirty-five % of the seeds were whole and 6 % potentially viable or viable in the burrows of *C. emini*.

The magnetic detector had the advantage of being easier to handle in the vegetation, detecting tags faster and deeper in the soil. However, it requires an appropriate soil, is annoying for *C. emini* because the magnets come out of the seeds to cling to each other in his cheek pouches, and the detector gives false detections. In contrast, the RFID system does not give false detections and PIT tags have a unique identifier, they can be found less deeply than magnets but do not interfere with rodents. The thread tags were a source of discomfort for both *C. emini* and *F. pyrropus*, were less easy to find but are very cheap.

The VOCs profiles of the fruits of both *Myristicaceae* species are very complex and it is probably in their whole that they could have an olfactory effect on rodents. There was a significant dependence in seed removal depending on whether sulcatone was present or not.

Keywords: Dispersion, rodents, *Cricetomys emini*, *Funisciurus pyrropus*, tropical rainforests, RFID, magnetic detection, traditional thread tags, VOCs.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	I
Résumé.....	IV
Abstract	V
Table des figures	IX
Table des tableaux	X
Introduction générale	1
1.1 Dispersion des graines	1
1.2 Zoochorie dans les forêts denses humides tropicales	2
1.3 La dispersion par les rongeurs	3
1.4 Méthodes de suivi des diaspores.....	4
1.4.1 Méthodes visuelles	4
1.4.2 Méthodes de marquage fixé	5
1.5 Rôle des VOCs (« Volatile Organic Coumpounds »).....	7
1.6 Objectifs.....	8
2 Matériel et méthodes	9
2.1 Modèles biologiques.....	9
2.1.1 Espèces animales étudiées.....	9
2.1.2 Espèces végétales étudiées.....	13
2.2 Zone d'étude.....	19
2.3 Description du dispositif expérimental.....	21
2.3.1 Suivi de la dispersion des graines.....	21
2.3.2 Installation du dispositif de suivi de la dispersion	23
2.3.3 Recherche des graines marquées	25
2.3.4 Données récoltées.....	27
2.4 Influence des composés volatils dans l'attraction des rongeurs.....	27
2.4.1 Analyse des molécules volatiles émises par <i>Staudtia kamerunensis</i> et <i>Pycnanthus angolensis</i>	27
2.4.2 Influence de la sulcatone sur l'enlèvement des graines marquées.....	28
2.5 Fouille de terriers.....	28
2.5.1 Méthodologie de fouille.....	28
2.5.2 Identification des graines.....	28
2.5.3 Estimation de la viabilité	29
2.6 Comparaison de l'efficacité des différentes méthodes en fonction du type de sol.....	29
2.7 Analyses des données.....	30
2.7.1 Rythmes d'activité.....	31
3 Résultats.....	32
3.1 Comparaison des méthodes de marquage.....	32
3.2 Comparaison de l'efficacité des méthodes.....	32
3.3 Influence de l'espèce dispersée.....	34

3.4	Influence des composés volatils dans l'attraction des rongeurs	35
3.4.1	Analyse des molécules émises par <i>Staudtia kamerunensis</i> et <i>Pycnanthus angolensis</i>	35
3.4.2	Influence de la sulcatone	36
3.5	Rôle des rongeurs dans la dispersion	37
3.5.1	Résultats globaux	37
3.5.2	Rythmes d'activité.....	39
3.5.3	Dispersion par <i>F. pyrropus</i>	40
3.5.4	Dispersion par <i>C. emini</i>	42
3.6	Comparaison de l'efficacité des méthodes en fonction du type de sol.....	46
4	Discussion.....	48
4.1	Suivi de la dispersion des graines	48
4.1.1	Méthode de marquage	48
4.1.2	Radiotracking	50
4.1.3	Suivi individuel	51
4.1.4	Utilisation des pièges photographiques.....	51
4.2	Influence des composés volatils dans l'attraction des rongeurs.....	51
4.2.1	Analyse des molécules émises par <i>Staudtia kamerunensis</i> et <i>Pycnanthus angolensis</i>	51
4.2.2	Influence de la sulcatone	52
	Dispersion des graines par <i>C. emini</i>	53
4.2.3	Espèces retrouvées dans les caches.....	53
4.2.1	Viabilité et possibilité de germination des diaspores retrouvées.....	53
4.2.2	Rythmes d'activité.....	54
4.2.3	Distance de dispersion	55
4.3	Dispersion des graines par <i>F. pyrropus</i>	55
4.3.1	Espèces retrouvées dans les caches.....	55
4.3.2	Viabilité et possibilité de germination des diaspores retrouvées.....	55
4.3.3	Rythmes d'activité.....	55
4.3.4	Distances de dispersion.....	56
4.4	Comparaison de l'efficacité des différentes méthodes en fonction du type de sol.....	57
5	Conclusion & Perspectives	58
5.1	Méthode de marquage	58
5.2	Influence des molécules volatiles	59
5.3	Dispersion par les rongeurs	59
6	Références bibliographiques.....	61
	Annexe 1. Fiche « Recherche » de graines marquées.....	69
	Annexe 2. Tableau récapitulatif de l'enlèvement des graines selon le site, la méthode, le dispositif et l'essai	70
	Annexe 3. Tableau des pourcentages de graines enlevées ou non par les animaux en fonction de la méthode et par site – Comparaison avec graines non marquées.....	72
	Annexe 4. Nombre de détections des taxons identifiés via les pièges photographiques.....	73
	Annexe 5. Graphes circulaires des activités de <i>C. emini</i> et <i>F. pyrropus</i>	74

Données non scindées.....	74
Données scindées.....	74
Annexe 6. Méthodologie et résultats de l'analyse de molécules volatiles de fruits.....	75
Note liminaire.....	76
1. Description méthodologique.....	77
1.1 Echantillonnage des VOCs.....	77
1.2 L'analyse GCMS.....	78
2. Protocole analytique.....	82
2.1 Prélèvements SPME.....	82
2.2 Analyse GCMS.....	82
3. Résultats.....	82
3.1. <i>Staudtia kamerunensis</i> Warb.	82
3.2. <i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb.....	86
4. Conclusions.....	90
Annexe 7 - Histogramme des % de la situation spatiale et de l'état des 122 éléments retrouvés détaillés par espèce.....	91

TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Aire de répartition de <i>C. emini</i> ©Happold(2013).....	9
Figure 2 - <i>C. emini</i> ©Jane Burton	9
Figure 3 - Aire de répartition de <i>F. pyrropus</i> ©Happold(2013).....	12
Figure 4 - Dessin de <i>F. pyrropus</i> ©Happold (2013)	12
Figure 5 - Fruits et graines de <i>S. kamerunensis</i> ©Meunier <i>et al.</i> (2015)	15
Figure 6 - Fruit et graines de <i>P. angolensis</i>	16
Figure 7 - Fruits et graines de <i>Chrysophyllum spp.</i>	17
Figure 8 - Fruits et graines d' <i>A. bella</i> et graines d' <i>A. bipindensis</i> ©Meunier <i>et al.</i> (2015)	18
Figure 9 - Graines de <i>Pycnanthus angolensis</i> marquées avec les PIT tags.....	22
Figure 10 - Illustration du PIT tag (HPT23), de la pince et d'une graine d' <i>A. bipindensis</i> forée	22
Figure 11 - Aimants S-04-10-DN (©supermagnete.be) et graine d' <i>A. bipindensis</i> marquée avec.....	22
Figure 12 - Fil Caperlan (©Caperlan.fr) et graines de <i>P. angolensis</i> marquées avec	23
Figure 13 - Illustration de l'essai d'association du disperseur à une graine spécifique	25
Figure 14 - Détecteur magnétique	26
Figure 15 - Lecteur HPR Plus Reader et antenne BP Plus Portable	27
Figure 16 - Capture tirée d'une vidéo illustrant les problèmes rencontrés avec les aimants pour <i>C. emini</i>	33
Figure 17 - Position x-y (cm) des éléments retrouvés par rapport au centre des dispositifs d'étude (0,0)	34
Figure 18 – Graphique des intervalles des distances de dispersion (cm) selon l'espèce.....	34
Figure 19 - Graphique des intervalles pour les différences entre les paires de moyennes	35
Figure 20 - Situation spatiale des 122 éléments (graines ou tags) retrouvés	37
Figure 21 - Etat des 122 éléments retrouvés	38
Figure 22 - Histogramme des heures d'activité de <i>C. emini</i> , N=61	40
Figure 23 – Histogramme des heures d'activité de <i>F. pyrropus</i> , N=94	40
Figure 24 - Caractéristiques des éléments retrouvés associées à une dispersion par <i>F. pyrropus</i> (site ILOMBA)	42
Figure 25 - Caractéristiques des graines retrouvées associées à une dispersion par <i>C. emini</i> (sites DOUSSIE et LONGHI)	43
Figure 26 - Proportion des 6 familles prépondérantes au sein des 14 terriers.....	44
Figure 27 - Moyenne du nombre de rats observés par trajet (histogramme), nombre d'observations (tracé linéaire sur graphe supérieur) et maximum observé par plage horaire (tracé linéaire sur graphe inférieur) - tiré de Majer (1973)	54
Figure 28 - Modèle SPME	78
Figure 29 - Principe de l'échantillonnage	78
Figure 30 - Schéma descriptif d'un GCMS	79
Figure 31 - Présentation de l'appareillage utilisé (Agilent 5973N)	79
Figure 32 - Schéma de séparation en chromatographie gazeuse	80
Figure 33 - Fragmentation typique de l' α -Pinene (VOC).....	80
Figure 34 - Principe de l'impact électronique	80
Figure 35 - Spectre de masse caractéristique de l' α -pinène, molécule constitutive des <i>Pinaceae</i>	81
Figure 36 - Fruits et graines de <i>Staudtia kamerunensis</i>	83
Figure 37 - Profil Chromatographique des VOCs issus de <i>Staudtia kamerunensis</i> (Fruit)	85
Figure 38 - Profil chromatographique des VOCs issus de <i>Staudtia kamerunensis</i> (Graine).....	85
Figure 39 - Fruit de <i>Pycnanthus angolensis</i>	86
Figure 40 - Profil Chromatographique des VOCs issus de <i>Pycnanthus angolensis</i> (Fruit).....	89
Figure 41 - Profil Chromatographique des VOCs issus de <i>Pycnanthus angolensis</i> (Graine)	89

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Mensurations de <i>C. emini</i> d'après Happold (2013)	10
Tableau 2 - Caractéristiques des terriers explorés par Ronveaux (1991)	11
Tableau 3 - Mensurations de <i>F. pyrropus</i> basées d'après Happold(2013)	12
Tableau 4 - Fiche récapitulative - <i>Staudtia kamerunensis</i>	15
Tableau 5 - Fiche récapitulative - <i>Pycnanthus angolensis</i>	16
Tableau 6 - Fiche récapitulative - Genre <i>Chrysophyllum</i>	17
Tableau 7 - Fiche récapitulative – <i>Afzelia bipindensis</i>	18
Tableau 8 - Comparaison des coûts et des batteries des méthodes utilisées	21
Tableau 9 - Nombre total de graines marquées et non marquées en fonction de l'essai et du traitement	25
Tableau 10 - Pourcentage de graines enlevées en fonction de la méthode pour tous les sites.....	32
Tableau 11 - Tests d'indépendance (Non marqué VS marqué) (dl=1)	32
Tableau 12 - Proportion graines retrouvées/graines enlevées, distance moyenne de dispersion et proportion de tags retrouvés seuls en fonction de la méthode (basé sur l'entièreté des données) ...	33
Tableau 13 - VOCs identifiés et études correspondantes ayant mis en avant un rôle attractif/répulsif intéressant dans le cadre de ce travail.....	35
Tableau 14 - Nombre de fois où un taxon a emporté une ou plusieurs graines du dispositif	38
Tableau 15 - Résultats heures d'activité moyenne (statistiques circulaires)	39
Tableau 16 - Nombre de diaspores associées aux caches de <i>F. pyrropus</i> découvertes à l'aide des tags (classées par famille et par espèce)	41
Tableau 17 - Etat et distance de dispersion des graines associées à <i>F. pyrropus</i>	42
Tableau 18 - Synthèse des distances des terriers explorés au dispositif le plus proche.....	43
Tableau 19 - Nombre et proportion de diaspores entières et viables/potentiellement viables retrouvées dans les terriers de <i>C. emini</i> (classées par famille et espèce ou genre)	44
Tableau 20 - Tests de détection en fonction du type de sol avec l'appareil RFID (35cm profondeur) .	46
Tableau 21 - Tests de détection en fonction du type de sol avec le détecteur magnétique (35cm profondeur)	46
Tableau 22 - Tests de détection en fonction du type de sol avec le détecteur magnétique (55cm profondeur)	47
Tableau 23 - Tests de détection de faux positifs en fonction du type de sol (détecteur magnétique)	47
Tableau 24 - Composition des VOCs issus de <i>Staudtia kamerunensis</i>	83
Tableau 25 - Composition des VOCs issus de <i>Pycnanthus angolensis</i>	86

LISTE DES ACRONYMES

- AAC : Assiette Annuelle de Coupe
- DynAfFor : Dynamique des forêts d'Afrique centrale
- DME : Diamètre Minimum d'Exploitation
- DMF : Diamètre Minimum de Fructification
- FDH : Forêt(s) Dense(s) Humide(s) Tropicale(s)
- FSC : Forest Stewardship Council
- GCMS : Gas Chromatography-Mass Spectrometry
- IUCN : International Union for Conservation of Nature
- LC : Least Concern
- PIT tag : Passive Integrated Transponder
- RFID : Radio Frequency Identification
- SPME : Solid Phase Microextraction
- UFA : Unité Forestière d'Aménagement

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 DISPERSION DES GRAINES

Sur le nombre considérable de graines produites par les plantes, seules quelques-unes parviendront à s'établir et à devenir des arbres aptes à se reproduire à leur tour. C'est pour cette raison que la phase de dispersion des diaspores est une des plus importantes de la vie des plantes (Jansen, 2003). Janzen(1986) a d'ailleurs comparé cette chance d'établissement à celle d'un aveugle tentant de tirer sur un buffle courant sur un terrain mouvant. Sa réussite dépend du nombre et de la taille des balles tirées ainsi que du nombre de buffles présents. Dans cette métaphore, le nombre et la taille des balles représentent respectivement le nombre de graines produites et l'énergie allouée dans les réserves des graines. Tandis que le nombre de buffles illustre la proportion d'endroits propices à la germination des graines.

La dispersion primaire est l'enlèvement du fruit depuis l'arbre jusqu'à son arrivée sur un lieu d'établissement, tandis que la dispersion secondaire est définie comme étant n'importe quel mouvement significatif effectué par la graine après la dispersion primaire (S. B. vander Wall *et al.*, 2005; Stoner & Henry, 2011).

Deux hypothèses principales expliqueraient les avantages liés à la dispersion :

1. La première est l'**hypothèse d'évasion** avancée par Howe & Smallwood en 1982. Cette hypothèse stipule que l'éloignement par rapport au pied-mère est bénéfique en raison d'une mortalité plus importante liée à la forte densité des graines sous le pied-mère (Janzen, 1970)
2. La seconde **hypothèse** est celle **de colonisation**. Elle suppose que l'implantation dans un nouvel environnement est bénéfique (Cain *et al.*, 2000). Dans certains cas, on parle même de **dispersion dirigée** lorsque des disperseurs amènent les graines dans des sites particulièrement propices à leur établissement (Wenny, 2001).

Ces hypothèses dépendent de l'ampleur du « **seed shadow** » ou « **pluie de graines** » qui représente généralement la distribution spatiale des diaspores autour du pied-mère (Janzen, 1971). Mais ces termes peuvent aussi faire référence à la distribution des diaspores autour d'une source composée de plusieurs parents (Willson & Traveset, 2000).

Il existe deux grandes approches pour caractériser le « *seed shadow* » : les méthodes de suivi *a posteriori* et *a priori* (Côtés & Uriarte, 2013).

1. Les méthodes *a posteriori* ou « rétrospectives » étudient la distribution spatiale effective des graines/plantules en lien avec les distances aux pieds-mère afin de retracer le mouvement des diaspores (Muller-Landau *et al.*, 2008). Ces méthodes utilisent la modélisation inverse afin d'estimer les distances de dispersion (Côtés & Uriarte, 2013). Différentes approches peuvent être envisagées pour relier les graines à leur source :
 - le génotypage des graines et des pieds par l'utilisation de marqueurs moléculaires (Jordano *et al.*, 2007) ;
 - l'emploi d'isotopes pour retrouver les graines appartenant à un parent en particulier (Carlo *et al.*, 2009).

Toutefois, ces méthodes sont peu adaptées pour refléter la complexité des différents évènements de dispersion zoochore, surtout lorsqu'ils se déroulent à grande distance (Jordano *et al.*, 2007).

2. Les méthodes *a priori* ou « projectives » dont :

- l'approche de suivi « ciblé » qui retrace le trajet des graines depuis le pied-mère jusqu'au site de dépôt (Côtés & Uriarte, 2013). Elle comprend différentes méthodes qui seront détaillées plus loin (cf. §1.4) ;
- l'approche de « projection mécanistique », qui est une alternative aux méthodes rétrospectives car elle permet la modélisation du « *seed shadow* » (Côtés & Uriarte, 2013). Pour ce faire, les données relatives à la plante, à son disperseur et à la dispersion sont incorporées dans un modèle prédictif. Mais ces approches sont généralement difficiles à réaliser au vu du nombre considérable de variables influençant les déplacements et comportements des animaux intervenant dans la zoochorie (Muller-Landau *et al.*, 2008).

1.2 ZOOCHORIE DANS LES FORÊTS DENSES HUMIDES TROPICALES

Les facteurs déterminant le devenir des diaspores sont d'une grande importance dans la démographie et l'évolution des plantes (S. B. vander Wall *et al.*, 2005, p. 1). Ceux-ci sont qualifiés soit d'abiotiques, via l'anémochorie (vent), l'hydrochorie (eau), la barochorie (gravité) ou encore l'autochorie (expulsion des graines à l'ouverture du fruit), soit de biotiques via la zoochorie, c'est-à-dire le transport des graines par les animaux (Charles-Dominique, 2003).

En forêt dense humide tropicale (FDH), de nombreuses études mettent en évidence la prépondérance d'essences ligneuses zoochores. Ainsi, Muller-Landau *et al.*(2008) ont estimé que 72% des espèces d'arbres inventoriées pour leur étude dans une FDH au Panama dépendaient des animaux pour la dispersion des diaspores. Plus récemment, Beaune *et al.*(2013) ont montré que 95% des graines d'espèces ligneuses tropicales étaient dispersées par les animaux dans une forêt sempervirente en RDC (forêt de LuiKotale). Finalement, ce seraient de 60 à 95% des espèces végétales tropicales qui dépendraient de la faune pour la dispersion de leurs graines (Charles-Dominique(2001) cité par Julliot *et al.*, 2001, p. 197).

La compréhension des interactions plantes – animaux est donc un élément clé de l'étude des dynamiques de régénération forestière en milieu tropical. La littérature distingue deux grandes catégories d'animaux interagissant avec les fruits. D'une part, il y a les frugivores qui consomment la pulpe en rejetant la plupart des graines intactes, avec ou sans passage par le tube digestif (respectivement endozoochorie ou synzoochorie) (Charles-Dominique, 2003). D'autre part, il y a les granivores tels que les rongeurs qui ne recherchent pas la consommation de la pulpe du fruit.

Néanmoins, des espèces de rongeurs telles que *Cricetomys emini* ou *Atherurus africanus* pourraient jouer un rôle important dans les mécanismes de dispersion, notamment par la perte des diaspores durant leur transport sur de longues distances (Mathurin & Nasi, 1999). De fait, le devenir des graines transportées par ces deux espèces est très peu documenté (Rosin & Poulsen, 2017). Par ailleurs, il a déjà été prouvé que des espèces généralement considérées comme prédatrices de graines jouent un rôle de disperseur pour certaines espèces (Charles-Dominique, 2001, p. 191). C'est le cas par exemple de l'écureuil *Sciurus aestuans* qui a été reconnu comme l'un des disperseurs des graines du palmier *Maximiliana maripa* en forêt guyanaise (Charles-Dominique *et al.*, 1981).

A l'instar d'autres groupes taxonomiques, les rongeurs pourraient repérer les graines grâce à des composés organiques volatils (« *Volatile Organic Compounds* » ou VOCs). Les VOCs des plantes

sont des métabolites secondaires impliqués dans des interactions biotiques et des réponses aux stress abiotiques (Rodríguez *et al.*, 2013). Ces molécules, bien que non essentielles à la survie des plantes, sont associées aux interactions liant les animaux disperseurs-prédateurs aux fruits produits (Rodríguez *et al.*, 2013).

Ces VOCs sont en général accumulés à forte concentration dans certaines parties du végétal telle que la partie charnue du fruit ou de la graine (Rodríguez *et al.*, 2013). Ainsi, après analyse des composés volatils émis par l'arille de *Guibourtia tessmannii*, Tosso *et al.* (2015) ont mis en évidence la présence de sulcatone (6-méthyl-5-hepten-2-one). Ce composé est une molécule volatile retrouvée dans les fèces de rats femelles en phase d'œstrus (Nielsen *et al.*, 2013). A l'aide de tests d'attractivité, Tosso *et al.* (2015) ont démontré que *C. emini* était attiré par cette molécule.

De façon générale, le rôle des rongeurs a été jusqu'à présent peu documenté (Evrard *et al.*, 2017). Une étude récente a mis en lumière qu'une espèce d'agouti dispersait 35% des graines emportées **à plus de 100 mètres** via des repositionnements successifs des caches et des vols de cache par d'autres agoutis. Ils ont également montré que 14% des graines cachées survivaient l'année suivante si une nouvelle production de fruits était disponible (Jansen *et al.*, 2012).

Le rôle des rongeurs dans la dynamique de régénération forestière est d'autant plus important que les rongeurs sont moins affectés par la chasse que les autres taxons (Beaune *et al.*, 2013), les espèces les plus grandes étant les premières touchées par la chasse sélective (Beaune *et al.*, 2013). Dans certains cas cette chasse est liée à la progression de l'exploitation forestière qui se développe de façon rapide en Afrique centrale (Laporte *et al.*, 2007). Il est, en effet, indispensable d'ouvrir de nouvelles routes pour sortir le bois, ce qui permet l'accès à des massifs forestiers auparavant inaccessibles. Si l'accès aux routes n'est pas contrôlé, la chasse et le braconnage peuvent alors se développer. Par ailleurs, il a été montré que le long d'anciennes routes d'exploitation forestière, l'abondance des rongeurs et leur diversité augmentaient (Malcolm & Ray, 2000).

1.3 LA DISPERSION PAR LES RONGEURS

Le rôle des rongeurs dans la dispersion dépend de la stratégie de stockage mise en œuvre, laquelle peut être de deux types : le « *larder-hoarding* » et le « *scatter-hoarding* ».

Le « *larder-hoarding* » consiste à stocker toutes les diaspores dans un terrier (Evrard *et al.*, 2017). Le risque encouru par un animal « *larder-hoarder* » est de perdre tout le stock emmagasiné si son terrier, et donc ses réserves, sont découverts par un autre animal. Les « *larder-hoarders* » sont en conséquence généralement des animaux capables de défendre leur réserves (Brodin, 2010).

Le « *scatter-hoarding* » : Cette stratégie de stockage consiste à emmagasiner des graines par petites quantités dans de nombreuses caches (Brodin, 2010). Réaliser de multiples caches permet de ne pas perdre toutes ses réserves en une seule fois. Par contre, il n'est pas possible pour le « *scatter-hoarder* » de surveiller les nombreuses caches dispersées sur une grande surface (Brodin, 2010).

De nombreux animaux stockant leur nourriture peuvent être classés soit comme « *larder-hoarders* » soit comme « *scatter-hoarders* ». Néanmoins il existe des exemples d'espèces qui sont les deux à la fois, c'est le cas du tiamas strié (*Tamias striatus*). Chez cette espèce, les tiamas dominants plus âgés capables de défendre leurs réserves adoptent le « *larder-hoarding* » tandis que les plus jeunes individus sont des « *scatter-hoarders* » (Brodin, 2010).

Vis-à-vis de la dispersion, un élément crucial lié aux caches résiderait dans le fait que les graines soient enterrées. Ceci serait surtout important pour les grosses graines afin de les protéger de la dessiccation (Hulme & Kollmann, 2005, p. 22). Hulme & Kollmann (2005) avancent même que, dans certains cas, ce bénéfice lié à l'enfouissement des graines de taille importante rendrait accessoire l'avantage d'être éloigné du pied-mère (Hulme & Kollmann, 2005, p. 22). Par ailleurs,

Jansen *et al.* (2010) avaient avancé l'hypothèse que l'enlèvement de la chair entourant les fruits du palmier *Astrocaryum standleyanum* pourrait diminuer l'infestation par des larves de bruches. Bien que cette hypothèse ait été finalement rejetée lors de leur étude cela ne signifie pas que cela soit faux pour d'autres espèces.

Par le scatter-hoarding, si la graine n'est finalement pas consommée, elle pourrait rencontrer des critères propices à son établissement (Jansen *et al.*, 2001, pp. 282,283) : (i) l'éloignement par rapport aux prédateurs, maladies et ravageurs ; (ii) la réduction de la compétition avec les autres plantules ; (iii) la facilitation de la germination et de la croissance de la plantule via l'enfouissement (pour certaines espèces dispersées par les rongeurs cet enfouissement est même un prérequis à la germination).

Ces trente dernières années, les études sur la dispersion par les frugivores ont explosé en FDH tropicale. Celles-ci se sont principalement concentrées sur l'endozoochorie. A contrario, le phénomène de scatter-hoarding a été très peu documenté jusqu'à présent alors qu'il a été démontré qu'il jouait un rôle important dans la dispersion en milieu tempéré (Forget & Wenny, 2005, p. 379).

Quantifier le taux de prélèvement des diaspores par les rongeurs est une tâche aisée mais traquer le parcours de ces derniers après enlèvement des diaspores est ardu (Sork, 1984). Des méthodes aux complexités et coûts variés ont déjà été utilisées afin de connaître le destin des graines emportées par les animaux. Il existe plusieurs types de méthodes de suivi (Forget & Wenny, 2005, pp. 380–387). Les premières sont dites visuelles et consistent à observer directement le comportement de dispersion des graines, dans des habitats ouverts par exemple (Forget & Wenny, 2005, p. 380). Dans les secondes, les graines sont marquées selon plusieurs modalités. Elles peuvent être attachées à un point (tuteur ou tige par exemple). Elles peuvent aussi rester « libres ». Dans ce dernier cas, on peut notamment utiliser des fils libres, des isotopes, des métaux ou aimants, la technologie RFID (« *Radio Frequency Identification* ») ou encore le « *radiotracking* ».

1.4 MÉTHODES DE SUIVI DES DIASPORES

1.4.1 Méthodes visuelles

Ces méthodes sont adaptées aux animaux lents ou observés en captivité. Elles sont par contre peu aisées à mettre en œuvre en milieu tropical (Forget & Wenny, 2005, pp. 380-382). Elles sont, par exemple, utilisées pour les oiseaux dont les temps de vols sont connus.

Pour les rongeurs aux mœurs diurnes, des cas d'habituation ont permis l'observation visuelle de distances de dispersion précises (Étude de Cahalane (1942) sur le comportement des écureuils « *scatter-hoarders* »). Par ailleurs, des « *remote cameras* » et des systèmes de vidéo-surveillance peuvent être utilisés pour caractériser l'enlèvement et la prédation des graines en milieu tempéré comme tropical. Par exemple, Merceron *et al.* (2017) ont caractérisé l'enlèvement de glands par des « *scatter-hoarders* » en forêt belge. Ces pièges sont également de plus en plus utilisés dans des études plantes-disperseurs ou plantes-prédateurs (Trolliet *et al.*, 2014).

Des marquages peuvent aussi être utilisés (Forget & Wenny, 2005, pp. 380-382). Le marquage des rongeurs capturés avec de la poudre fluorescente permet de retracer leurs mouvements ultérieurs avec une lampe ultraviolette. Chaque cache réalisée est signalée par de la poudre laissée par l'animal (Longland & Clements, n.d.; Lemen & Freeman, 1985; Miyaki & Kikuzawa, 1988 cités par Forget & Wenny, 2005, p. 382). Cette méthode demande d'effectuer des recherches nocturnes et ne convient pas aux milieux humides car la poudre disparaît dès les premiers mètres (Forget & Wenny, 2005, pp. 380-382).

1.4.2 Méthodes de marquage fixé

1.4.2.1 Fils attachés & « spool-and-line »

Un fil est attaché à la graine et relié à un point fixe (par exemple une souche) afin de quantifier les taux d'enlèvement des graines par les animaux. En variante de cette méthode, le « spool-and-line » permet d'évaluer les distances de dispersion et de connaître le destin des graines à partir du déroulement d'une bobine attachée à un point fixe (Forget & Wenny, 2005, pp. 380,383). En 1991, sur de courtes distances (0,6 à 9,5m), Yasuda *et al.* l'ont utilisée avec succès pour suivre la dispersion de glands par une souris du genre *Apodemus*. Hallwachs (1986) a même enregistré une distance de dispersion de 225 mètres pour *Hymenaea courbaril* avec ce système.

Cette méthode est logiquement plus adaptée pour les animaux terrestres qu'arboricoles (Forget & Wenny, 2005, p. 383). Le fil peut en effet gêner l'animal en s'empêtrant dans la végétation et si le fil est coupé l'information est perdue. En outre, la préparation des bobines prend un temps considérable lorsque l'étude nécessite une très grande quantité de graines (Forget & Wenny, 2005, p. 383).

1.4.2.2 Fils libres

De nombreuses études menées dans les forêts néotropicales montrent que fixer un simple fil à la graine, via un orifice réalisé dans celle-ci ou collé sur la graine (si l'étude nécessite la germination des graines), se révèle efficace et peu coûteux pour la suivre (Forget & Wenny, 2005, pp. 384-387). Ces fils peuvent être en polyester, en nylon plus durable, en filament de cuivre ou encore en acier, plus difficiles à couper pour un rongeur (Forget & Wenny, 2005, p. 386). Ils peuvent être colorés/fluorescents, munis d'une étiquette pour marquer individuellement chaque graine et/ou rendre le marquage plus visible. Différentes longueurs de fils sont utilisées, de 30 à 200 cm. La possibilité de retrouver une graine enterrée profondément dépend de la longueur du fil mais, plus celui-ci est long, plus le risque augmente que le fil s'empêtre dans la végétation (Forget & Wenny, 2005, pp. 384-387).

1.4.2.3 Isotopes

Des radio-isotopes, préférentiellement le scandium 46, et des compteurs Geiger peuvent être utilisés afin de retrouver des graines. Bien que l'utilisation de radionucléides soit considérée comme dangereuse, cette méthode, si elle est utilisée en prenant des précautions appropriées, permet de retrouver des graines avec peu de risques, de suivre des graines pour une période de 6 à 9 mois et ce jusqu'à une distance de 50 cm et 25 cm de profondeur. Le scandium 46 se dégrade en titane, élément non toxique et non radioactif, ne s'accumule pas dans les tissus végétaux ou animaux, ne compromet ni la santé des animaux ni la possibilité de germination des graines s'il est utilisé en faibles concentrations (Forget & Wenny, 2005, p. 385).

Cette méthode permet de marquer les graines sans trace apparente et serait particulièrement efficace dans les milieux secs. C'est l'une des seules, avec les poudres fluorescentes, permettant de marquer de petites graines (Forget & Wenny, 2005, p. 385). Elle a été utilisée pour le marquage de graines dès la fin des années 50 (Lawrence & Rediske, 1959) et perdure (Stephen B. Vander Wall, 2003; Carlo *et al.*, 2009).

Une fois le compteur Geiger acquis, la méthode est peu coûteuse. Cependant, les autorisations nécessaires à son utilisation ainsi que la prise de dispositions particulières pour une utilisation sécuritaire sont exigées. Il est également possible d'injecter des radionucléides dans une plante entière afin de rendre les graines et plantules de cette plante initialement marquée détectables (Forget & Wenny, 2005, p. 385).

1.4.2.4 Détecteur de métaux

En 1984, Sork a inséré de petits clous à l'intérieur de glands pour étudier leur dispersion par les vertébrés terrestres. Suite à l'étude préliminaire de l'incidence de la présence des clous sur l'enlèvement des glands et l'efficacité de localisation par un détecteur de métaux à des profondeurs différentes dans une aire de recherche déterminée, elle a constaté que, marqués ou non, les glands ont été emportés de la même façon mais, malheureusement, 20% des glands marqués n'étaient pas détectés (Sork, 1984). Par ailleurs, la présence de déchets métalliques ainsi que les roches magnétiques génèrent de faux positifs qui réduisent l'efficacité des recherches ou rendent l'utilisation de cette méthode non adaptée à certains milieux. De plus, les temps de recherche sont longs car les détecteurs de métaux doivent passer directement au-dessus de la zone où se trouvent les graines taguées (Alverson & Diaz, 1989). Enfin, seules les graines enterrées à quelques centimètres de profondeur seulement (1 à 4 cm) sont repérables.

1.4.2.5 Détecteur magnétique

En 1989, en forêt tropicale humide de plaine au Costa Rica, Alverson & Diaz ont testé l'efficacité d'un détecteur magnétique afin de retrouver des graines marquées enterrées à différentes profondeurs avec deux types d'aimants différents. Les résultats obtenus étaient encourageants : le plus gros des deux aimants (poids : 2,2 g) était retrouvé avec un taux de 100% par des « chercheurs naïfs » à une profondeur de 40 cm. Ils ont conclu que, dans des conditions similaires, le marquage et la recherche de graines ayant une taille suffisante permettrait de retrouver 99% des graines enfouies sur une surface d'un hectare en 20 à 40 heures.

La manipulation d'un détecteur magnétique est plus aisée que celle d'un détecteur de métaux, avec une détection par bandes allant de 50 à 100 cm sur les côtés, sa forme de barre est plus facilement maniable dans une végétation encombrée, entre des contreforts ou encore dans un terrier.

Néanmoins, en fonction du lieu de l'étude, les détecteurs magnétiques détectent également de faux positifs (minéralisation des sols, roches magnétiques et métaux magnétisables) (Alverson & Diaz, 1989).

1.4.2.6 RFID (« Radio Frequency Identification »)

Les PIT tags sont, à la base, utilisés pour le suivi des poissons (Fuller *et al.*, 2008). En 2013, ils ont permis à Suselbeek de suivre des glands dispersés par des rongeurs : les glands du chêne des marais (*Quercus palustris*), du chêne rouge d'Amérique (*Q. rubra*) dispersés par l'écureuil gris (*Sciurus carolinensis*) en Amérique du Nord et les glands du chêne pédonculé (*Q. robur*) dispersés par le mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*) aux Pays-Bas. Cette méthode n'a pas encore été utilisée en milieu tropical. Suselbeek (2013) a conclu que ce type de tags était particulièrement bien adapté pour suivre les diaspores transportées par des rongeurs « scatter-hoarders ».

1.4.2.7 « Radio-tracking »

Pons & Pausas(2007) ont estimé la distance de dispersion du chêne et le « seed shadow » généré par le geai des chênes (*Garrulus glandarius*) avec des glands munis d'émetteurs via radio-tracking. En milieu tropical, Jansen *et al.*(2012) ont également utilisé des émetteurs radios avec succès pour retrouver des graines de palmier emportées principalement par une espèce d'agouti « scatter-hoarder ».

Avec le radiotracking, les temps de recherche sont réduits et les distances de repérage augmentées, néanmoins, cette méthode s'avère très coûteuse, chaque émetteur aurait coûté plus d'une centaine de dollars (devis par Philip Wevers travaillant chez Biotrack¹). En outre, le poids des émetteurs radio (par exemple de ~0,5 à 2 gr selon la durée de vie de la batterie chez Biotrack pour la

¹ coordonnées Biotrack (specialists in animal monitoring) : www.biotrack.co.uk/ info@biotrack.co.uk

gamme Pip Tags) rend cette méthode inadaptée aux petites et moyennes graines (Forget & Wenny, 2005, p. 388).

1.5 RÔLE DES VOCs (« VOLATILE ORGANIC COUMPOUNDS »)

Les composés organiques volatils (« *Volatile Organic Coumpounds* » ou VOCs) des plantes sont des métabolites secondaires impliqués dans des interactions biotiques et des réponses aux stress abiotiques (Rodríguez *et al.*, 2013). Ces molécules, bien que non essentielles à la survie des plantes, sont associées aux interactions liant les animaux disperseurs-prédateurs aux fruits produits (Rodríguez *et al.*, 2013).

Ces VOCs sont en général accumulés à forte concentration dans certaines parties du végétal telle que la partie charnue du fruit (Rodríguez *et al.*, 2013). En outre, après analyse des composés volatils émis par l'arille de *Guibourtia tessmannii*, Tosso *et al.*(2015) ont mis en évidence la présence de sulcatone (6-methyl-5-hepten-2-one). Ce composé est une molécule volatile retrouvée dans les fèces de rats femelles en phase d'œstrus (Nielsen *et al.*, 2013). A l'aide de tests d'attractivité, Tosso *et al.*(2015) ont démontré que *C. emini* était attiré par cette molécule.

1.6 OBJECTIFS

Des paragraphes précédents, nous pouvons mettre en exergue que :

- i.* le rôle des rongeurs dans la dispersion des graines des arbres des forêts denses humides africaines demeure peu documenté,
- ii.* le rôle des composés volatils dans l'attraction des rongeurs est peu étudié,
- iii.* bien que plusieurs méthodes de suivi des graines existent, peu d'essais ont été menés dans les forêts denses d'Afrique centrale.

En conséquence, ce travail ambitionne :

- i.* de définir et de quantifier les rôles de deux espèces de rongeurs dans la dynamique de la régénération de la FDH au Cameroun ;
- ii.* d'étudier l'influence de la sulcatone sur l'enlèvement de graines marquées et de présenter une étude préliminaire de l'analyse des molécules volatiles émises par les fruits et l'arille de *Staudtia kamerunensis*, et de *Pycnanthus angolensis* ;
- iii.* de comparer l'efficacité de trois méthodes différentes de suivi de la dispersion des diaspores encore non testées en Afrique centrale (PIT-tags, aimants et fils libres).

Pour rencontrer ces deux premiers objectifs, nous nous sommes focalisés sur deux espèces de rongeurs (*Cricetomys emini* et *Funisciurus pyrropus*) et quatre espèces d'arbres (*Staudtia kamerunensis*, *Pycnanthus angolensis*, *Chrysophyllum spp.* et *Afzelia bipindensis*).

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MODÈLES BIOLOGIQUES

2.1.1 Espèces animales étudiées

Considérant des observations préalables effectuées par Evrard *et al.* (2017), le présent travail s'est focalisé sur les genres *Cricetomys* et *Funisciurus*.

2.1.1.1 *Cricetomys emini*

Le rat d'Emin (*Cricetomys emini* - Figure 2) appartient à la famille des *Nesomyidae* et à la sous-famille des *Cricetomyinae* (Happold, 2013, p.157). Le genre *Cricetomys* est présent dans la plupart des habitats en Afrique subsaharienne, des savanes aux forêts tropicales, et est souvent associé aux milieux anthropisés (Happold, 2013, p.157). A l'instar des autres animaux répartis sur une aire fortement étendue, de nombreuses « formes » du genre *Cricetomys* ont été décrites dans la littérature. Néanmoins, plusieurs auteurs s'accordent pour reconnaître deux espèces dans le genre : *C. emini* et *C. gambianus* (Ronveaux, 1991). *C. emini* est une espèce de forêt alors que *C. gambianus* est une espèce savanicole. Cependant, les deux espèces partagent le même habitat en lisière de forêt (Happold *et al.*, 2013, pp.157,158). L'aire de distribution du rat d'Emin va de la côte d'Ivoire jusqu'à l'Angola et parcourt l'ensemble du bassin du Congo (Figure 1). Stuart & Stuart (2015) expliquent que des domaines vitaux allant de 2 jusqu'à 11 hectares ont été enregistrés pour *C. gambianus* et que ces variations pourraient s'expliquer par des différences de nourriture disponible.

Bien qu'il soit fortement chassé (Happold *et al.*, 2013), l'IUCN classe *C. emini* en LC (« Least Concern » pour préoccupation mineure) au vu de sa grande aire de répartition et d'une population présumée stable. Néanmoins, cette espèce pourrait potentiellement devenir localement menacée si la pression de chasse s'avérait trop intense à proximité des populations humaines, là où les primates et ongulés ont déjà fortement décliné et dans des zones déforestées (Happold *et al.*, 2013, p. 159).

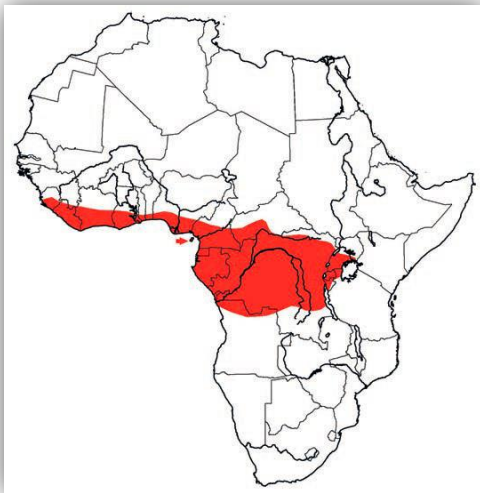


Figure 1 - Aire de répartition de *C. emini* ©Happold(2013)



Figure 2 - *C. emini* ©Jane Burton

C. gambianus et *C. emini* ont des allures de rat, des oreilles ovales, des yeux saillants et une queue légèrement plus longue que le corps. La queue du genre *Cricetomys* présente la particularité d'être bicolore ; la partie proximale étant noirâtre et la distale étant blanche (Ronveaux, 1991). Les cricétomes présentent des incisives non rainurées (Happold, 2013, p.157). Comme les autres genres de la sous-famille des *Cricetomyinae*, les *Cricetomys* possèdent de grandes poches jugales pour transporter leur nourriture (Happold, 2013, p.157). Ces poches permettent de réduire considérablement le temps d'exposition aux prédateurs (Butynski *et al.*, 2013, p.90). Aussi, les *Cricetomyinae* creusent des terriers relativement complexes dans lesquels ils stockent leur nourriture pour une consommation directe ou ultérieure (Happold, 2013, p.153). Les *Cricetomys* ont des mœurs

nocturnes et sont habituellement terrestres mais ils peuvent être retrouvés en hauteur (Happold, 2013, pp.153, 158, 160).

C. gambianus est plus gros que *C. emini*. En effet, *C. gambianus* peut atteindre une longueur de corps de 40 cm et un poids de 1,5kg contre 38 cm et 1,3kg pour *C. emini*. A contrario, la queue de *C. emini* est en moyenne plus longue que celle de *C. gambianus*, avec 39 cm pour l'un contre 35 cm. *C. emini* possède une allure et des membres plus élancés. Les mensurations de *C. emini* sont renseignées dans le Tableau 1 (Happold, 2013, pp.159, 161).

Les oreilles de *C. gambianus* sont velues à l'arrière tandis que celles de *C. emini* sont glabres. Le pelage de *C. emini* est plus court que celui de *C. gambianus*. La queue de *C. emini* présente nettement moins de poils que celle de *C. gambianus*. Le pelage de *C. emini* varie peu en fonction de la zone géographique. Les individus adultes de *C. emini* possèdent une teinte roux-acajou sur le dos, les flancs sont plus clairs et enfin le cou, la gorge et le ventre sont d'un blanc pur (Ronveaux, 1991).

Tableau 1 - Mensurations de *C. emini* d'après Happold (2013)

Mensurations de <i>C. emini</i>	
Longueur corps et tête	274 - 379 mm
Hauteur	60 - 72 mm
Longueur queue	332 - 435 mm
Poids	455 - 1300 g

La capacité reproductive des deux espèces est grande (Cassola, 2016a). De fait, la femelle peut mettre bas jusqu'à six portées par an, avec un nombre moyen de petits de 4 (Ronveaux, 1991). *C. emini* peut vivre jusqu'à quatre ans et demi en captivité (Happold, 2013, p.159).

Les cricétomes sont omnivores mais principalement végétariens (Ronveaux, 1991; Happold *et al.*, 2013, pp. 158,160). Leur régime est très varié et comprend des racines, écorces, bulbes, fruits secs, graines diverses oléagineuses (notamment noix de palmes), plantes cultivées comme les fèves, champignons et de petits animaux tels que des escargots et termites (Pirlot, 1957; Morris, 1963; Kingdon, 1974; Ajayi, 1977; Malekani, 1987; cités par Ronveaux, 1991). Ils sont aussi coprophages (Happold *et al.*, 2013, p. 158).

Malekani (1987) précise que les cricétomes préfèrent les graines oléagineuses telles qu'*Ongokea gore* ou *Panda oleosa*. Evrard *et al.* (2017) avancent que *C. emini*, à l'instar des autres grands rongeurs, privilégie les fruits riches et fibreux.

A l'aide d'émetteurs radio attachés aux graines par des fils, accompagné de pièges photographiques pour l'identification des animaux, Rosin & Poulsen (2017) ont montré que *C. emini* avait « larder-hoardé » presque toutes les graines qu'il avait enlevées durant leur étude. A contrario, Aliyu *et al.* (2014) avancent avoir de fortes preuves soutenant un comportement de « scatter-hoarder » pour une espèce de cricétome. Par ailleurs, les résultats de Nyiramana (2012) suggèrent également que *Cricetomys kivuensis*, une autre espèce de cricétome non reconnue par Happold *et al.* (2013) et classé comme synonyme de *C. emini* par l'IUCN (Cassola, 2016a), pratique le « scatter-hoarding ».

Au vu de ces études aux conclusions contradictoires, P.-M. Forget (communication personnelle dans Rosin & Poulsen (2017)), suggère de mener de plus amples recherches pour évaluer la cohérence de ces comportements par rapport à différentes variables (type de forêt, densité des rongeurs, phénologie fruitière et disponibilité des ressources).

Lors de son étude sur l'habitat et le terrier des cricétomes au Bénin, Ronveaux (1991) a mis en évidence une grande variabilité interindividuelle dans les terriers explorés (en termes de réseau de galeries, de nombre de chambres et de lieux de stockage et de défécation). Néanmoins il a observé des constantes dans les terriers occupés chez les deux espèces (*C. gambianus* et *C. emini*) :

1. au minimum une chambre (cavité de forme variable, souvent ancienne termitière agrandie),
2. un espace dans la chambre pour le stockage de la nourriture (la nourriture peut être entassée dans les recoins d'une ou plusieurs chambres, plus le terrier est vieux plus les points de stockage sont nombreux),
3. communication de la chambre avec l'extérieur via un réseau de galeries de longueurs variables et souvent non rectilignes,
4. accès aux galeries obstrués par un ou deux « bouchons » (situés le plus souvent à la sortie de la galerie ou encore à l'entrée de la chambre ou au niveau d'une déviation dans la galerie).

Par ailleurs d'autres caractéristiques sont souvent observées :

1. un lieu de défécation (dans un coin de la chambre principale ou dans une chambre annexe ou dans une galerie)
2. une litière composée de feuilles sèches dans un coin de la chambre principale
3. les terriers sont souvent creusés sous un monticule (butte ou ancienne termitière)
4. parfois le terrier est creusé sous une souche, un arbre, un arbuste

Le Tableau 2 renseigne sur les différences mises en évidence par Ronveaux (1991) concernant la structure des terriers de *C. gambianus* et *C. emini*. Il a mis en évidence que les terriers de *C. emini* ont une structure plus complexe que ceux de *C. gambianus*, avec des galeries plus longues et sinueuses. Contrairement à *C. gambianus*, il y aurait peu de différences entre les terriers des mâles et des femelles de *C. emini* (conclusion basée sur peu d'observations : 8 terriers où le sexe de l'occupant a pu être déterminé sur les 17 explorés).

Tableau 2 - Caractéristiques des terriers explorés par Ronveaux (1991)

	<i>C. gambianus</i>	<i>C. emini</i>	Différence significative entre les deux sp. ?	Remarques
Diamètre entrée principale (cm)	12,1	11,1	Non	/
Longueur moyenne des galeries (m)	4	7	Oui	Longueur maximale des galeries obtenues pour un <i>C. emini</i> femelle = 17,80 m
Nombre moyen de chambres	1,15	2,12	Non	Nombre max de chambres = 5 et plusieurs terriers possédaient 4 chambres, il s'agit souvent d'anciens terriers ayant été réoccupés
Surface moyenne de la chambre principale (cm²)	2187	3613	Oui	/
Nombre moyen de sorties de secours	0,95	2,88	Oui	<i>C. emini</i> prend plus de précautions face à d'éventuels prédateurs en creusant jusqu'à 8 sorties de secours
Profondeur moyenne chambre principale (cm)	59,3	73,1	Non	Maxima : 91 cm pour <i>C. gambianus</i> contre 122 cm pour <i>C. emini</i>

Au niveau de l'habitat, Ronveaux (1991) a également conclu que *C. emini* recherchait les forêts denses et qu'il était moins exigeant que *C. gambianus* pour le choix de l'emplacement de son terrier. En effet, le terrier peut se trouver sur un petit talus, au pied d'un arbre, dans une termitière ou encore sur un terrain plat.

2.1.1.2 *Funisciurus pyrropus*

Le genre *Funisciurus*, appartenant à la famille des *Sciuridae*, comprend 10 espèces qui sont principalement de petits écureuils forestiers. Ces écureuils présentent généralement une bande sur les flancs et sont arboricoles ou vivent plus proches du sol dans une végétation dense et enchevêtrée. Le genre est présent dans les forêts tropicales d'Afrique de l'Ouest et Centrale, certaines espèces peuvent se retrouver dans des forêts reliques au sein de savanes (Happold, 2013, pp.39, 46). La présente étude se focalise sur *Funisciurus pyrropus*.

F. pyrropus est endémique de l'Afrique. Son aire de répartition, quoiqu'étendue, est disjointe (Figure 3). L'espèce se retrouve ainsi au Nord-ouest de l'Angola, Burundi, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Guinée équatoriale, Gabon, Gambie, Sud-ouest du Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Liberia, Sud-est du Nigeria, Rwanda, Sud du Sénégal, Sierra Leone, Ouganda et RDC (Happold *et al.*, 2013, p. 59) (Figure 3).

F. pyrropus est classé LC par l'IUCN car il a une large aire de distribution, une population présumée importante et répartie par endroits dans des aires protégées et serait relativement tolérant à des modifications de son habitat (Cassola, 2016b).

F. pyrropus est de taille moyenne, avec un long museau, un dos foncé, une bande plus claire sur chaque flanc et des membres aux tons rougeâtres (Happold *et al.*, 2013, p. 59) (Figure 4). Les mensurations de *F. pyrropus* sont renseignées dans le

Tableau 3. Il peut mesurer jusqu'à une quarantaine de centimètres de long (queue comprise) et peser un peu plus de 300 g.

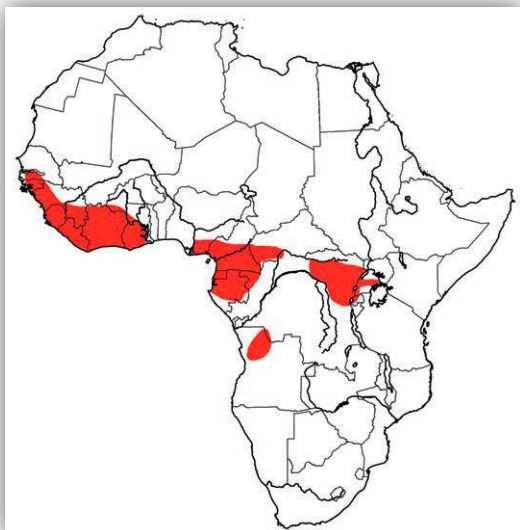


Figure 3 - Aire de répartition de *F. pyrropus* ©Happold(2013)



Figure 4 - Dessin de *F. pyrropus* ©Happold (2013)

Tableau 3 - Mensurations de *F. pyrropus* basées d'après Happold(2013)

Mensurations <i>F. pyrropus</i>

Longueur corps et tête	190 - 230 mm
Hauteur	44 - 49 mm
Longueur queue	153 - 180 mm
Poids	260 - 334 g

F. pyrropus est diurne (Thorington *et al.*, 2012, p.221,222). C'est une espèce terrestre et de sous-bois (Monadjem *et al.*, 2015, p. 75). Il s'active à l'aube et retourne à son nid en fin d'après-midi entre 15h30 et 18h (Thorington *et al.*, 2012, p.221,222). L'espèce est majoritairement solitaire mais des individus peuvent chercher leur nourriture par paire de façon occasionnelle. Une étude a obtenu des domaines vitaux très différents pour une femelle et pour un mâle suivis, avec respectivement des domaines vitaux d'approximativement 1 ha et 5 ha (Thorington *et al.*, 2012, p.221,222). *F. pyrropus* cherche sa nourriture au sol, sur des arbres tombés et dans la végétation en hauteur mais à moins de 1m50. Dans leur quête de nourriture, ces écureuils procèdent de façon lente : un mâle parcourant approximativement 61 m par heure et une femelle 35 m par heure (Thorington *et al.*, 2012, p.221,222). L'espèce se distingue des autres espèces du genre *Funisciurus* car elle a tendance à nicher sur et sous le sol (Thorington *et al.*, 2012, p.221,222). Rahm & Christiaensen (1963) (cités par Kingdon (1984), p. 386) ont rapporté avoir trouvé de nombreux nids sous des racines et des débris végétaux au sol, certains présentaient des amandes rongées.

La femelle a généralement 1 jeune par portée (Happold *et al.*, 2013, pp. 59,60).

F. pyrropus est omnivore et a un long museau pour chasser les insectes dans des crevasses (Thorington *et al.*, 2012, p.221,222). D'après Emmons (1980 (cité par Happold *et al.*, 2013, p. 59)), il se nourrirait principalement de fruits et de graines (>80%) et en partie d'insectes (12%) avec majoritairement des fourmis et des termites.

F. pyrropus est principalement associé à la forêt tropicale humide mais est aussi rencontré dans les broussailles côtières, en savane, lisière de forêt, dans des clairières et dans des formations secondaires (Cassola, 2016b).

Les espèces du genre ont été classées par différents auteurs soit comme prédateur, soit comme prédateur et disperseur occasionnel de graines (via des pertes et le scatter-hoarding) d'après des observations directes et indirectes. Ainsi, *Funisciurus congicus* est considéré comme prédateur de graines pour Beaune *et al.* (2013). Tandis que *Funisciurus anerythrus* est prédateur et disperseur de *Guibourtia tessmannii* selon Tosso *et al.* (2017). Quant à *F. pyrropus*, il est considéré comme prédateur et disperseur occasionnel pour *Dacryodes normandii* d'après les données de Haurez *et al.* (2015).

2.1.2 Espèces végétales étudiées

Quatre espèces ont été sélectionnées en fonction d'observations préliminaires témoignant de taux d'enlèvement important des graines au sol (JL Doucet, communication personnelle, Evrard (2015)) : *Staudtia kamerunensis*, *Pycnanthus angolensis*, *Chrysophyllum spp.* et *Azelia bipindensis*. Les deux premières espèces avaient des fruits matures au cours de la période d'observation. La troisième possédait des fruits immatures. Enfin, la dernière n'était pas en fruit. Les graines de cette dernière ont été, soit acheminées du Gabon, où l'espèce fructifie avec un décalage de 6 mois par rapport au Cameroun, soit provenaient de graines récoltées à la période de fructification précédente au sein des UFA de Pallisco. Ces quatre taxons sont en outre exploités pour leur bois d'œuvre. Il est donc d'autant plus important de comprendre les mécanismes impliqués dans la dispersion de leurs graines.

Les espèces du genre *Chrysophyllum* n'ont pu être déterminées car les fruits ont été ramenés progressivement du terrain par différentes personnes, sans identification précise des arbres dont ils

provenaient. Il y avait au minimum deux espèces différentes de *Chrysophyllum*, il s'agissait probablement de *C. boukokoëense* et de *C. lacourtianum*.

Les tableaux 4 à 7 synthétisent les principales caractéristiques de ces espèces. Sauf indication contraire, les sources des tableaux 4 à 7 sont : Aubréville (1961, 1968); Fouilloy (1965); Vivien & Faure (1985, 2011); Donkpegan *et al.* (2014); Meunier *et al.* (2015).

Tableau 4 - Fiche récapitulative - *Staudtia kamerunensis*

Nom scientifique	<i>Staudtia kamerunensis</i> var. <i>gabonensis</i> Warb.
Nom vernaculaire	Niové
Famille	<i>Myristicaceae</i>
Dimensions maximales	H : 35 m - D : 100 cm
Fût	Fût droit ou légèrement sinueux
Base	Pas de contreforts, peut-être légèrement cannelée ou empâtée
Cime	Typique : étagée, branches perpendiculaires au tronc
Ecorce	De couleur gris-jaune, s'exfolie en minces écailles laissant des plaques irrégulières orange
Feuilles	Simples alternes 8 X 16 X 2-5 cm 5 - 8 paires nervures latérales peu marquées
Tranche	Rose avec un écoulement rouge sang coagulant rapidement
Fruits (Figure 5)	Charnu et déhiscent en deux valves 1 graine par fruit entièrement entourée d'un arille rouge Fruit de couleur rouille immature et jaune à maturité Fruit : 5 X 5 cm ou 3,5 X 2 cm Graines de 1,5-2,8 X 1-1,8 cm (Fouilloy, 1965; Trolliet <i>et al.</i> , 2017)
Ecologie	Espèce dont les feuilles sont persistantes, tolérante à l'ombrage et non grégaire
Sous-espèces	<i>S. kamerunensis kamerunensis</i> des forêts sempervirentes et dont les fruits sont plus gros (5 X 5 cm) <i>S. kamerunensis gabonensis</i> des forêts semi-décidues et sempervirentes avec des fruits plus petits (3,5 X 2 cm). C'est la seconde qui est étudiée dans ce travail.
Importance commerciale	Bois d'œuvre durable et recherché, notamment en menuiserie et ébénisterie, mais peu exploité car n'atteignant pas un gros diamètre
Importance locale	Écorce et sève en médecine traditionnelle et pour certains cultes
DMF & DME²	DMF efficace ³ : 40 cm (Durrieu De Madron & Daumerie, 2004), DME : 60 cm (Gabon), 50 cm (Cameroun) (Cellule Aménagement PALLISCO & Nature +, 2017)



Figure 5 - Fruits et graines de *S. kamerunensis* ©Meunier *et al.*(2015)

²DMF : Diamètre Minimum de Fructification et DME : Diamètre Minimum d'Exploitation

³Durrieu De Madron & Daumerie(2004) définissent un DMF efficace comme étant celui pour lequel 80% des arbres de l'essence considérée produisent des fruits, ils conseillent de fixer un DME au minimum 10 cm au-dessus de ce DMF

Tableau 5 - Fiche récapitulative - *Pycnanthus angolensis*

Nom scientifique	<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb.
Nom vernaculaire	Ilomba
Famille	<i>Myristicaceae</i>
Dimensions maximales	H : 35 m - D : 150 cm
Fût	Fût droit
Base	Cylindrique ou léger empatement
Cime	Typique : branches perpendiculaires au tronc rassemblées au sommet à feuillage retombant
Ecorce	De couleur grise à noirâtre, écailleuse
Feuilles	Simples alternes Grandes feuilles (jusque 30 X11 cm) Typiques : très allongées et à base cordée, à pubescence roussâtre quand jeunes et perforées par des morsures d'insectes 25-40 paires nervures latérales bien marquées
Tranche	Brun clair à rose, très cassante, exsudat brun-rouge
Fruits (Figure 6)	Drupacé déhiscent en deux valves 1 graine par fruit entourée d'un arille rose Fruit de couleur verte à feutrage orangé quand immature et jaune et brun à maturité Fruit : 3-4 X 2,5-3 cm Graine : 1,5-2 X 1-1,5 cm
Ecologie	Espèce dont les feuilles sont persistantes, semi-héliophile et non grégaire, des forêts sempervirentes et semi-décidues
Importance commerciale	Faible (menuiserie, réalisation de placages, panneaux et contreplaqué)
Importance locale	Écorce et graine en médecine traditionnelle
DME	70 cm (Gabon), 60 cm (Cameroun) (PALLISCO, 2007)



Figure 6 - Fruit et graines de *P. angolensis*

Tableau 6 - Fiche récapitulative - Genre *Chrysophyllum*

Nom scientifique	<i>Chrysophyllum</i> L.
Nom vernaculaire	Longhi
Famille	<i>Sapotaceae</i>
Dimensions	Grands arbres
Fût	Fût rectiligne qui peut être cannelé
Base	Contreforts
Ecorce	Fissures sinueuses
Feuilles	Simple alternes
Tranche	Latex blanc avec éventuellement une odeur fruitée
Fruits (Figure 7)	Grosses baies ovoïdes contenant plusieurs graines à cicatrice étroite latérale
Importance commerciale	Faible
Importance locale	Les fruits de <i>Chrysophyllum lacourtianum</i> De Wild. sont comestibles
DMF	70 cm (Gabon – <i>C. africanum</i> et <i>C. lacourtianum</i>)



Figure 7 - Fruits et graines de *Chrysophyllum* spp.

Tableau 7 - Fiche récapitulative – *Afzelia bipindensis*

Nom scientifique	<i>Afzelia bipindensis</i> Harms
Nom vernaculaire	Doussié
Famille	<i>Fabaceae</i>
Dimensions maximales	H = 40 m - D : 140 cm
Fût	Fût cylindrique
Base	Contreforts minces
Ecorce	Brun jaunâtre ou gris-rougeâtre avec des crêtes sinueuses et des lenticelles
Feuilles	Alternes composées pennées à rachis canaliculé (15-25 cm) 5 à 6 paires de folioles opposées pointues au sommet Dimensions folioles : 7-13 X 4-5 cm Jusqu'à 15 paires de nervures secondaires réunies en arc près de la marge Pétiole tordu de 5 mm
Tranche	Jaunâtre et granuleuse, pas d'exsudat et forte odeur de banane plantain.
Fruits (Figure 8)	Gousses ligneuses très épaisses et réniformes, déhiscentes en deux valves libérant les graines noires munies d'un arille orangé à la base Gousse : 5-9 x 10-15 cm Graine : 3-4 cm
Ecologie	Espèce dont les feuilles sont caduques, semi-héliophile, non grégaire des forêts denses humides sempervirentes et semi-décidues
Importance commerciale	Grande importance, nombreux emplois notamment en extérieur grâce à une bonne durabilité
Importance locale	Ecorce pour médecine traditionnelle, les graines seraient comestibles et sucrées
DME	DME : 70 cm (Gabon), 80 cm (Cameroun)



Figure 8 - Fruits et graines d'*A. bella* et graines d'*A. bipindensis* ©Meunier et al.(2015)

2.2 ZONE D'ÉTUDE

Plus de la moitié de la biodiversité se retrouve en forêt dense humide tropicale (Dupuy, 1998). Les forêts situées en Afrique centrale constituent le second plus grand massif forestier tropical mondial après l'Amazonie et sont encore globalement bien préservées en comparaison avec les autres massifs. Le taux de déforestation y est faible avec quelques exceptions locales (de Wasseige *et al.*, 2012, 2014). Ces forêts nourrissent 60 millions de personnes et fournissent des revenus aux Etats grâce à, notamment, l'exploitation du bois d'œuvre. De plus, elles permettent la régulation des grands fleuves du Bassin du Congo, abritent une diversité unique et stockent d'énormes quantités de carbone (de Wasseige *et al.*, 2012). Actuellement, la progression de l'agriculture permanente à petite échelle constitue la principale cause de déforestation de ces forêts (F.A.O., 2009). Néanmoins, l'exploitation durable des forêts pourrait concilier le maintien du couvert forestier tout en permettant un développement économique pour les pays du Bassin du Congo (Siry *et al.*, 2005).

Dans ce contexte, l'étude s'est déroulée au sein de la concession forestière de la société Pallisco, qui couvre 388949 ha de forêts. Ces forêts se situent en Afrique centrale, dans la Province Est du Cameroun, réparties sur les communes de Mindourou et de Lomié, entre les latitudes Nord 3,02° et 3,65° et entre les longitudes Est 13,33° et 14,52° (Delbeke, 2016). Ces forêts sont distribuées sur sept UFA dont six sont certifiées FSC⁴.

A Mindourou, les précipitations annuelles sont approximativement de 1600 mm et le climat est équatorial guinéen classique. Il présente donc quatre saisons : grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars, petite saison des pluies de mi-mars à mi-juin, petite saison sèche de mi-juin à mi-août et grande saison des pluies de mi-août à mi-novembre (Nguenang, 2010 cité par Delbeke, 2016)

L'étude s'est plus particulièrement concentrée sur les parcelles DynAfFor des UFA 10-042 et 10-031 où se déroulent plusieurs études relatives aux flux de gènes. Le projet DynAfFor est dédié à la recherche, résultat d'un partenariat entre des institutions de recherche, des administrations forestières et des sociétés d'exploitation forestière. Ce projet ambitionne d'améliorer les connaissances et techniques liées à la gestion des forêts et de perfectionner les outils d'aide à la décision en termes d'aménagement forestier⁵.

La parcelle DynAfFor, située dans l'AAC 9 de l'UFA 10-042, couvre 900ha de forêt. Cette AAC a été exploitée en 2013 (Delbeke, 2016). Son altitude est comprise entre 560 et 600 m et est parcourue par deux layons de base (NORD-SUD) et 21 layons secondaires (OUEST-EST), numérotés de L0 (EST) jusque L20 (OUEST) (Freycon, 2017).

En 2017, Freycon a caractérisé les sols de la parcelle DynAfFor située dans l'UFA 10-042, ce sont des ferralsols et ils sont homogènes quelle que soit la topographie. Il a également identifié les sols de la parcelle DynAfFor située dans l'UFA 10-031, ces sols sont hétérogènes et dépendent de la topographie. De fait, des ferralsols s'y trouvent sur les sommets des plateaux, des plinthosols sur les versants, des acrisols en bas de versant et des gleysols en bord de rivière sur des zones planes (Freycon, 2017). Afin d'évaluer l'influence du sol sur la détection des graines marquées, une expérimentation a été conduite sur les ferralsols de l'UFA 10-042 et sur les plinthosols et acrisols de l'UFA-10-031.

Les ferralsols sont les sols typiques des zones tropicales humides ; ils sont rouges ou jaunes et fortement altérés. Ils présentent un assemblage argileux dominé par des argiles à basse activité, majoritairement de la kaolinite et à teneur élevée en sesquioxydes. Les horizons des ferralsols ont des délimitations floues. (Osman, 2013; IUSS Working Group WRB, 2015).

⁴ <http://www.pallisco-cifm.com> (consulté le 07/07/2018)

⁵ <https://www.dynaffor.org/> (consulté le 07/07/2018)

Les plinthosols sont des sols riches en fer (et parfois en manganèse) et qui présentent de la plinthite, de la pétroplinthite ou pisolite. La plinthite est un mélange riche en fer, parfois en manganèse. Ce mélange est fait d'argile kaolinitique ainsi que d'autres produits provenant d'une altération forte. La pétroplinthite et la pisolite sont formés à partir de la plinthite suite à de l'induration. Cette induration résulte d'une alternance d'humectations et de dessiccations. La pétroplinthite forme plutôt une couche continue tandis que les pisolites forment des masses compactes non connectées. La plinthite serait associée à la forêt dense humide tandis que la pétroplinthite et la pisolite seraient associées aux forêts claires et de savane (IUSS Working Group WRB, 2015).

Les acrisols sont des sols dont le sous-sol est enrichi en argile en raison d'une migration de l'argile vers la partie inférieure du profil, formant ainsi un horizon argique subsuperficiel. Ce sont des sols acides à forte altération et présentant en profondeur un faible taux de saturation en bases. Les acrisols se retrouvent dans les régions tropicales humides, subtropicales humides et tempérées chaudes. La forêt tropicale est la végétation naturelle se développant sur ce type de sol (avec des exceptions en Amérique du Sud où des acrisols peuvent se développer sous savane) (Osman, 2013; IUSS Working Group WRB, 2015).

La forêt présente dans les deux parcelles étudiées est de type dense humide semi-caducifolié. Des familles typiques de cette formation y sont présentes telles que les *Malvaceae* et les *Ulmaceae* (Cellule Aménagement PALLISCO & Nature +, 2015). La forêt de la parcelle 10-042 se singularise par une plus grande abondance de palmier du genre *Raphia spp.* (Cellule d'aménagement Pallisco & Nature+, 2009). Il existe aussi des différences en termes de composition du peuplement ligneux entre les deux UFA, Vleminckx *et al.* (2017) ont ainsi mis en évidence des variations de cette composition le long d'un transect de ~ 100 km à Mindourou.

2.3 DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

2.3.1 Suivi de la dispersion des graines

2.3.1.1 Pertinence des méthodes choisies

La présente étude nécessitait de choisir des méthodes permettant de retrouver des graines enterrées à la profondeur la plus importante possible, de marquer de nombreuses graines, de minimiser les temps de recherche et les coûts, et enfin que les marquages employés soient peu gênants pour les rongeurs.

Parmi les méthodes décrites au § 1.4, les méthodes suivantes n'ont pas été considérées :

- observations directes en considérant les facteurs suivants : manque de visibilité, animaux rapides, mœurs nocturnes pour *C. emini* ;
- simples fils fixés car adaptés aux études de quantification de l'enlèvement des graines et non de leur dispersion ;
- spool-and-line car la préparation des dispositifs extrêmement chronophage et la gêne est importante pour les disperseurs ;
- radio-isotopes et compteurs Geiger car cela nécessite d'obtenir des autorisations, de collaborer avec une institution utilisant des isotopes radioactifs et cette méthode est mieux adaptée aux milieux secs
- détecteur de métaux et tags métalliques car les contraintes sont les mêmes que pour les aimants et détecteurs magnétiques mais avec plus de désavantages (temps de recherche plus longs et profondeur de détection moindre)

Au final, le détecteur magnétique, l'antenne RFID et les fils libres ont été retenus pour la présente étude. Le Tableau 8 détaille le coût des méthodes de marquage utilisées.

Tableau 8 - Comparaison des coûts et des batteries des méthodes utilisées

Méthode	Coût du système de détection	Coût d'un tag	Vendeur	Batterie
Aimant	Détecteur magnétique : ~1000€	Aimant/pièce : 0,256€ (sur base de 100)	Toposat pour le détecteur (déconseillé à l'avenir) – supermagnete pour les aimants	2 piles de 9V pouvant être changées sur le terrain
RFID	Lecteur : 2650€ Antenne portable : 870€	PIT tag/pièce : 2,83€ (sur base de 100)	Biomark	Batterie rechargeable ne permettant pas une journée de recherche complète si puissance réglée sur 100%
Fil	Lampe UV prêtée (10-40€ en fonction des modèles)	Fil/pièce : 0,01 € (4€ pour 250 m de fil ~ 400 graines avec des fils de 60 cm)	Fil fluorescent : Caperlan, decathlon creation©	Piles lampe

2.3.1.2 Protocole de marquage des diaspores :

Les graines dont la dispersion est étudiée sont percées à l'aide d'une perceuse à forets (Modèle : DREMEL 3000). Des graines non marquées serviront de « témoin » afin de savoir si le marquage constitue ou non un biais dans le délaissement de graines.

Méthode PIT tags

Le modèle Biomark HPT23™ (BIOMARK, INC., 705 S. 8th St. Boise, Idaho 83702) (Figure 10) a été choisi pour cette étude car le lecteur HPR Plus Reader associé à l'antenne BP Plus Portable de la même marque peuvent théoriquement détecter ce PIT-tag sur une distance de 41 à 56 cm, en fonction de l'orientation du tag par rapport à l'antenne et du bruit environnant.

Un foret de précision de 4 mm de diamètre (DREMEL) est employé pour trouser les graines afin d'insérer les PIT-tags (Figure 9). Un morceau de papier collant sur une pince à dissection (Figure 10) permet de vérifier que le trou est d'une profondeur suffisante pour insérer le tag (23 mm x 3,85 mm).



Figure 10 - Illustration du PIT tag (HPT23), de la pince et d'une graine d'*A. bipindensis* forée



Figure 9 - Graines de *Pycnanthus angolensis* marquées avec les PIT tags

Considérant Iida (1996) et Suselbeek *et al.* (2013) qui ont appliqué de la cire de greffage pour préserver les graines percées de la dessiccation, de la paraffine solide à fondre et un pistolet à colle ont été emportés sur le terrain pour faire tenir les PIT tags dans les graines et pour éviter que l'intérieur de la graine ne soit en contact direct avec l'environnement extérieur. Cependant, après essai avec les diaspores trouvées, il a été constaté que le PIT-tag tenait dans la graine sans nécessité de reboucher le trou foré avec de la paraffine ou pistolet à colle. Par ailleurs, passer cette étape permet de gagner du temps dans la préparation des graines.

Méthode aimants

Les aimants proviennent de la société Supermagnete (Webcraft GmbH, Industriepark 206, 78244 Gottmadingen, Germany) (Figure 11). Ce sont des aimants en néodyme magnétisés diamétralement (S-04-10-DN, 4X10 mm, 0,96 g, force : 1,1kg). Ils sont insérés dans les graines suivant la même méthodologie que les PIT tags en utilisant des repères différents car les aimants cylindriques utilisés sont moins longs que les PIT-tags. Lorsque les dimensions du trou percé dans la graine sont supérieures à la longueur ou la largeur de l'aimant, le pistolet à colle est utilisé pour combler l'espace et, éviter à l'intérieur de la graine d'être en contact direct avec l'air.



Figure 11 - Aimants S-04-10-DN (©supermagnete.be) et graine d'*A. bipindensis* marquée avec

Méthode fils

Du fil de pêche fluorescent jaune d'une épaisseur de 0,18 mm (Caperlan, decathlon creation©, 4 boulevard de Mons, 59650 Villeneuve d'Ascq, France) (Figure 12) sert de troisième méthode de marquage des diaspores. Les graines sont percées avec un foret de précision de 0,8 mm de diamètre. Le fil est alors passé dans l'orifice nouvellement créé et est attaché avec des nœuds (au moins 4). La longueur de fil fait approximativement 60 cm comme dans l'étude de Forget *et al.* (1991) et des nœuds sont réalisés afin de « coder » une information « jour de mise en place » sur les dispositifs où des graines ont été disposées à des dates différentes.



Figure 12 - Fil Caperlan (©Caperlan.fr) et graines de *P. angolensis* marquées avec

2.3.2 Installation du dispositif de suivi de la dispersion

Les graines marquées ont été placées devant un piège photographique (Modèle : Trophy Cam HD Aggressor, Bushnell Outdoor Products, Kansas, USA) dont les réglages et la position ont été adaptés en fonction des essais effectués sur le terrain. Au début, le mode « *set up* » de l'appareil était utilisé pour vérifier que les graines étaient dans le champ de vision de l'appareil. A la fin de l'étude, une tige droite sur l'objectif de l'appareil permettait de vérifier le placement du piège. Le nombre de jours où les pièges photographiques ont été laissés en place a été adapté en fonction des essais de terrain.

Au départ, chaque méthode a été testée avec un nombre équivalent de graines (4 traitements : PIT-tags, aimants, fils, non marquées) (

Tableau 9).

Après prospection sur le terrain, hormis pour le Doussié⁶, les graines ont été placées devant un arbre en fruits correspondant et bien situé (accessible à pied, pas de pente trop forte, sol non marécageux). Les graines de l'essai ILOMBA 2 ont été retirées un jour après avoir été placées⁷ et une partie a été replacée en un endroit aléatoire⁸. Enfin, les graines de Doussié ont été placées devant un Doussié sans fruits. Les arbres étaient suffisamment éloignés les uns des autres (min. 400 m à vol d'oiseau) de façon à ce que pour les tags des graines des uns ne puissent normalement pas interférer avec ceux des autres.

⁶ Puisque nous nous trouvions hors de la période de fructification du doussié, les graines de Doussié ont donc été placées devant un Doussié sans fruits

⁷ Les pièges photographiques ont montré que les graines étaient principalement enlevées par *F. pyrropus*, or ne connaissant pas encore cette espèce nous craignons qu'elle ne stocke les tags en hauteur

⁸ Car nous n'avions pas trouvé d'autre Ilomba en fruits facilement accessible pour les recherches

Tableau 9 - Nombre total de graines marquées et non marquées en fonction de l'essai et du traitement

Essai	Graines	Non marquées	Aimant	Fil	PIT tag	Total des graines marquées	Commentaire
ILOMBA 1	Ilomba	20	20	20	20	60	
NIOVE	Niové	16	16	16(14)	16	48(46)	2 fils emmêlés, non placés
ILOMBA 2	Ilomba	62	62	62(57)	62	186	5 fils emmêlés, non placés
ALÉATOIRE	Ilomba	20	20	20	20	60	graines reprises de l'Essai 2 ILOMBA après y avoir retiré les graines restantes
DOUSSIÉ 1	Doussié	/	20	20	20	60	
DOUSSIÉ 2	Doussié	/	20	/	20	40	au départ mise en place de pics numérotés retirés par la suite
LONGHI	Longhi	/	30	/	30	60	
Graines marquées au total		98	168	118	168	454	(les graines placées sur le dispositif aléatoire ne sont pas comptées puisque marquées pour l'Essai 2 ILOMBA à la base)

En vue de pouvoir identifier de façon précise sur les vidéos quel rongeur prenait quelle graine, des dispositifs différents ont été testés pour DOUSSIÉ 2 et LONGHI (Figure 13⁹). Les rongeurs ayant délaissé toutes les graines devant lesquelles se trouvaient un pic, les pics ont donc été retirés des dispositifs et les graines ont été laissées en place pour poursuivre l'étude.



Figure 13 - Illustration de l'essai d'association du disperseur à une graine spécifique

2.3.3 Recherche des graines marquées

Le temps écoulé entre la mise à disposition des graines et le début des recherches varie entre 4 et 11 jours selon les sites¹⁰. Le temps écoulé entre la mise en place d'une graine et sa récupération varie entre 1 et 21 jours avec une moyenne de 9 ± 5 jours.

⁹ Nous avons numéroté au marqueur à l'alcool la partie de l'aimant insérée à l'intérieur de la graine (afin de limiter l'impact de l'odeur).

¹⁰ 1 seul jour pour l'Essai 2 site ILOMBA mais n'est pas pris en compte puisque les graines y ont été retirées de façon précoce.

Deux méthodes de recherche ont été testées. La première consistait à matérialiser un carré imaginaire autour du dispositif et à se suivre en file indienne en effectuant des « S » d'un bout à l'autre du carré, la personne de tête tenant une boussole pour maintenir un cap et les personnes derrière cherchant avec les détecteurs et la lampe en restant assez éloignées les unes des autres pour ne pas perturber le fonctionnement du détecteur magnétique. Cette méthode s'est révélée peu efficace. La seconde, plus efficace, et qui a donc été retenue pour cette étude était la suivante ; recherche dans un rayon d'environ 50m autour des dispositifs avec les graines. Chaque personne partant dans une direction et cherchant une zone de son côté en se remémorant les zones où elle était déjà passée et en insistant à certains endroits (entrées de terrier, sous les racines échantonnées, au pied d'arbres, etc.). Au-delà de 50 m, quelques « pointes » de recherche ont été effectuées dans certaines directions aléatoires. De fait, il aurait été difficile d'effectuer de façon exhaustive les recherches au-delà d'un rayon de 50 m étant donné que la surface de recherche augmente exponentiellement avec le rayon de recherche. L'équipe de recherche était généralement composée de deux à trois personnes, avec parfois une quatrième.

Afin de retrouver les graines marquées avec les aimants, le détecteur magnétique utilisé est le modèle *GA-52Cx Magnetic Locator* (Schonstedt Instrument Company, 100 Edmond Road Kearneysville, WV 25430 USA) (Figure 14). Les recherches à l'aide du détecteur magnétique nécessitent de ne porter aucun élément susceptible de perturber la détection (pas de ceinture, chaussures avec des parties métalliques, bijoux, GPS, GSM, etc.). La personne avance de façon lente en balançant devant elle, de gauche à droite, et, de façon modérée, le bras tenant le détecteur. Ce dernier peut être inséré dans la végétation ou dans des entrées de terrier lorsque c'est nécessaire. Avec l'expérience, la personne peut apprendre à mieux différencier les sons émis par l'appareil lorsqu'il signale de faux positifs de détections d'aimant. Le détecteur magnétique fonctionne avec deux piles 9V qui peuvent être changées sur le terrain.



Figure 14 - Détecteur magnétique

L'antenne et le lecteur RFID utilisés sont les *BP PLUS Portable Antenna* et *HPR Plus reader* fabriqués par Biomark (BIOMARK, INC. 705 S. 8th St. Boise, Idaho 83702, USA) (Figure 15). L'antenne se présente sous la même forme qu'un détecteur de métaux. La meilleure manière de procéder est de passer partout au-dessus du sol en maintenant l'antenne le plus proche possible de la surface de celui-ci. La puissance du signal émis par l'antenne peut être réglée via le lecteur mais le lecteur fonctionne sur batterie et la puissance maximale épuise vite la batterie. Un compromis entre puissance, et donc une plus grande distance de détection des PIT tags, et économie de la batterie a dû être trouvé.



Figure 15 - Lecteur HPR Plus Reader et antenne BP Plus Portable

Une lampe torche UV a été utilisée afin de retrouver plus facilement les fils fluorescents. Cependant, la puissance de la lampe et la clarté relative du sous-bois ont rendu cette méthode de détection presque inefficace. En effet, il fallait se rapprocher fortement du fil pour qu'il devienne fluorescent. Une des personnes de l'équipe préférait même rechercher les fils sans lampe UV.

Lorsque le détecteur magnétique ou le lecteur RFID indiquaient la présence d'un tag, la surface du sol et la végétation étaient examinées et si le tag ne s'y trouvait pas, le sol était progressivement creusé. La terre progressivement enlevée était déposée et examinée sur un tissu.

En cherchant des éléments marqués sur le site ILOMBA, des graines se trouvant dans les mêmes caches que les éléments marqués ont été trouvées (dans 4 caches différentes supposées associées à *F. pyrropus*). L'état et la viabilité potentielle de ces autres graines cachées a été évaluée. Ces caches se trouvaient à une distance de $10,85 \pm 5,12$ m (max : 18,7 m, min : 4 m) et les graines se situaient à maximum 20 cm de profondeur.

2.3.4 Données récoltées

Une fiche « Recherche » reprenant les données récoltées sur le terrain a été réalisée au début de l'étude. Elle reprend des informations générales telles que le lieu du dispositif, la date, les chercheurs. Et pour chaque tag retrouvé elle détaille : le type de tag, son état, la distance et l'orientation par rapport au dispositif le plus proche, la pente du sol, l'enfouissement dans le sol ou une position hauteur, la présence de racines, d'un arbre, en terrier, etc. Cette fiche peut être consultée en Annexe 1.

2.4 INFLUENCE DES COMPOSÉS VOLATILS DANS L'ATTRACTION DES RONGEURS

2.4.1 Analyse des molécules volatiles émises par *Staudtia kamerunensis* et *Pycnanthus angolensis*

La description de la méthodologie et des résultats des analyses des molécules volatiles réalisées sur les diaspores de *S. kamerunensis* et *Pycnanthus angolensis* résulte d'une collaboration avec M. Georges Lognay (Prof. Ord. Hre, Collaborateur scientifique GxABT, Unité d'entomologie fonctionnelle et évolutive, Prof. F. Francis) (Annexe 6).

L'analyse des molécules volatiles émises par des diaspores de *P. angolensis* et *S. kamerunensis* a été réalisée après rapatriement sous vide d'un fruit mature, appelé « fruit » et d'une graine arillée seule, appelée « graine », de chacune des deux espèces. Il s'est écoulé 6 jours entre la récolte des diaspores et le début des analyses. Premièrement, l'échantillonnage des molécules volatiles a été réalisé par micro-extraction sur phase solide (SPME pour « Solid Phase Micro-Extraction ») avec une fibre d'adsorption dite « généraliste ». Ensuite, les molécules volatiles ont été

identifiées grâce à un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GCMS - Gas Chromatography-Mass Spectrometry).

2.4.2 Influence de la sulcatone sur l'enlèvement des graines marquées

Sur les dispositifs de suivi de la dispersion des graines, pour les Essais ILOMBA 1 et 2, ALÉATOIRE et DOUSSIÉ 1 et 2, les graines avaient été séparées en deux pour être disposées soit sans sulcatone soit avec sulcatone. Cette dernière avait été diluée à 10% dans de la paraffine. Pour diffuser cette molécule volatile, trois bouchons à jupe rabattable sont disposés en triangle sur le dispositif (côtés de 40 à 50 cm) pour recevoir chacun 3 gouttes de sulcatone diluée ou uniquement de la paraffine (essai sans sulcatone) (F. Tosso, communication personnelle). Les graines avec ou sans sulcatone avaient été placées en deux endroits différents situés sous la cime du même arbre en fruits ou en deux endroits aléatoires pour l'Essai ALÉATOIRE. Les dispositifs avec et sans sulcatone étaient au minimum séparés d'une dizaine de mètres.

2.5 FOUILLE DE TERRIERS

La fin de l'étude a été consacrée à la fouille de terriers de *C. emini*. Au total, 14 terriers contenant des graines ont été fouillés. Plus de trente entrées ressemblant à des terriers de rat d'Emin ont été explorées mais étaient soit de « faux terriers » (c'est-à-dire des trous appartenant à une autre espèce ou un début de terrier) ou des terriers partant sous un gros arbre ou trop en profondeur que pour être fouillés. Treize des terriers faisaient partie des terriers préalablement repérés lors de la phase de recherche des graines marquées sur les sites DOUSSIÉ et LONGHI. Le quatorzième était un terrier qui contenait un aimant seul et qui avait donc été exploré lors de la phase de recherche des graines¹¹. Tous les terriers se situaient donc dans un rayon maximal de 50 mètres autour des dispositifs de dispersion.

2.5.1 Méthodologie de fouille

Aux alentours de l'entrée, les autres entrées potentielles étaient recherchées et marquées avec un jalon. Le bras et une tige servaient à déterminer l'orientation et la longueur des différentes galeries. Ainsi, un trou était creusé plus loin dans la direction estimée en prenant soin de laisser une tige en place dans la galerie pour retrouver cette dernière malgré l'amas de terre qui risquait d'y glisser. Cette opération se répétait jusqu'à la découverte d'une chambre de stockage des graines. Les graines étaient séparées de la terre et mises de côté dans des sacs plastiques numérotés. La présence éventuelle d'une litière de feuilles était notée ainsi que l'état de fraîcheur de celles-ci.

2.5.2 Identification des graines

Rares sont les personnes ayant les connaissances nécessaires à la détermination d'une espèce sur la seule base de sa graine. La manière la plus simple de confirmer l'identification d'une graine est de la faire germer afin d'identifier la plantule à l'aide d'ouvrages de référence. Comme déjà expliqué plus haut, le temps après récolte des données était court pour une attente de germination. De plus, la plupart des graines retrouvées n'étaient plus viables. L'identification des graines a donc été réalisée avec l'aide de plusieurs personnes, d'ouvrages, de sites de référence et de comparaisons à l'aide d'une carpothèque des graines d'Afrique appartenant au Laboratoire de Foresterie des régions tropicales et subtropicales à Gembloux Agro-Bio Tech. Les personnes consultées sont ;

- Pr. Jean-Louis DOUCET, responsable du Laboratoire de Foresterie des régions tropicales et subtropicales
- Dr. Barbara HAUREZ, Assistante de recherche pour Nature+
- Dr. Jean-François GILLET, assistant de recherche à Gembloux Agro-Bio Tech

¹¹ Site ILOMBA, situé à 18,9m du dispositif, chambre de stockage de 35 cm de profondeur

- le doctorant Donatien ZEBAZE, travaillant sur la banque de graines du sol en FDH au Cameroun en partenariat avec la concession Pallisco
- Dr. Frank Trolliet, post-doc au Département de Biologie, Ecologie, Evolution à l'Université de Liège
- M. Sertillanges Bienvenu ANGO, employé de la société Pallisco au sein de l'équipe de recherche scientifique et reboisement

Les ouvrages et sites de référence utilisés sont :

- Différents volumes de la Flore du Gabon (*Muséum national d'Histoire naturelle de Paris*, différentes années)
- Botanic Garden Meise ; The BR Herbarium Catalogue¹²
- Kew Royal Botanic Garden ; Herbarium catalogue¹³

2.5.3 Estimation de la viabilité

Des graines germées ont été trouvées en terrier et ont donc été notées comme viables.

Les diaspores de *Raphia spp.* et de *Panda oleosa* ayant été récoltées en grande quantité dans les terriers occupaient beaucoup de place, elles n'ont pas été ramenées par avion à Gembloux Agro-Bio Tech. Leur viabilité a donc été estimée sur place à l'aide d'un marteau et puis d'un scalpel pour les graines de *Panda oleosa* avec un référentiel « intuitif » :

- pour *Raphia spp.* la graine cassée devait être :
 - de couleur uniforme, non poudreuse, non trouée
- pour *Panda oleosa* la graine devait être
 - ferme, blanche, non sèche, non poudreuse et de couleur homogène (excepté le germe qui pouvait être d'un blanc différent de celui de l'endosperme)

Les graines répondant à ces critères ont été considérées comme potentiellement viables.

Pour les graines qui ont été ramenées à Gembloux Agro Bio Tech, par manque de temps, compte tenu du fait que certaines graines auraient peut-être mis des mois avant de germer, le final seed cut test pratiqué à Meise a été préféré à la mise en germination afin estimer la viabilité des graines en bon état.

Le final seed cut test est normalement réalisé après un test de germination pour voir si la graine est vide, infestée par des insectes, etc. (communication personnelle d'Ann Van de Vyver et Thierry Vanderborcht). Ce test est similaire à ce qui a été réalisé pour les graines de *Raphia spp.* et pour les noyaux de *Panda oleosa* puisqu'il consiste à couper la graine avec un scalpel et à observer au binoculaire l'intérieur de la graine (observation réalisée par Ann Van de Vyver ou Thierry Vanderborcht pour cette étude). Ce test ne permet pas de déterminer si une graine est viable ou non, juste de pouvoir avancer que la graine est potentiellement viable.

2.6 COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ DES DIFFÉRENTES MÉTHODES EN FONCTION DU TYPE DE SOL

Des tests de profondeur de détection ont été réalisés sur trois types de sols : ferralsols, plinthosols et acrisols (pas les gleysols étant donné que ce sont des sols saturés en eau pendant une partie de l'année, ils ne sont donc pas des lieux idéaux pour cacher des graines) avec le détecteur magnétique et l'antenne RFID. Les points choisis pour effectuer les tests ont été déterminés en

¹² <http://www.br.fgov.be/RESEARCH/COLLECTIONS/HERBARIUM/advancedsearch.php>

¹³ <http://apps.kew.org/herbcat/gotoSearchPage.do>

reprenant les points GPS des sondages effectués par M. Freycon lorsqu'il a caractérisé les sols de Pallisco (Freycon, 2017). Les tests ont été effectués à 35 et 55 cm, avec différentes puissances de signal/sensibilité de détection pour les appareils RFID/magnétique.

Le trou était creusé, l'aimant ou le PIT tag était placé au fond du trou dans un contenant en plastique pour le retrouver plus facilement et la terre était remise en place par-dessus et tassée. Ensuite, une personne passait avec l'appareil correspondant au tag placé (PIT tag/aimant) tandis que l'autre notait si l'appareil détectait le tag ou non selon la puissance/l'intensité choisie par la personne tenant l'appareil. La détectabilité a été définie de manière qualitative selon que l'appareil détectait le tag de manière forte, suffisante, faible ou ne détectait pas le tag pour les aimants. Tandis que la puissance minimale nécessaire pour la détection du PIT tag avec l'antenne tenue à 5 et 10 cm de hauteur du sol était notée. Les essais ont été répétés deux fois pour chaque type de sol dans des trous situés à minimum 10 mètres l'un de l'autre. La possible interférence d'un aimant avec la détection par la technologie RFID a également été testée en plaçant les deux types de tags ensemble.

Enfin, sur les zones où les trous ont été effectués, deux surfaces de 25 m² ont été explorées pour chaque type de sol avec le détecteur magnétique afin de compter le nombre de faux positifs détectés par ce dernier.

2.7 ANALYSES DES DONNÉES

Notre intérêt pour l'influence des différentes méthodes de marquage et de la présence ou non de sulcatone sur l'enlèvement des graines nous a amenés à effectuer plusieurs tests statistiques.

Nous avons d'abord effectué des tests χ^2 sur Minitab 17 afin d'appréhender une dépendance significative entre les différentes modalités du facteur marquage et la proportion de graines enlevées. Pour ce faire, nous n'avons gardé que les données des essais pour lesquels nous avons également disposé des graines sans marquage, puisque notre intérêt est de déterminer si les marquages diminuent de façon significative l'enlèvement des graines par les rongeurs.

Le test χ^2 a ainsi été réalisé sur toutes les modalités du facteur et si la dépendance était significative, nous recommandons le test entre les modalités 2 à 2 afin de voir où se situaient ces dépendances. Les conditions d'application de ces tests χ^2 , à savoir des occurrences attendues généralement $>$ ou $=$ à 5 et aucune occurrence attendue $<$ 1, sont vérifiées.

Afin d'étudier également les interactions entre les facteurs, une analyse de la variance à 3 facteurs croisés mixtes a été effectuée avec SAS 9.4, après vérification des conditions d'application (la normalité et l'égalité des variances sont acceptées). Les observations étudiées sont les pourcentages d'enlèvement des graines. À cause d'un problème technique, les interactions entre facteurs sont incomplètes¹⁴ et l'analyse de la variance est déforcée. Pour étudier les interactions mixtes incomplètes, les carrés moyens des interactions contenant le facteur aléatoire ont été regroupés. Pour étudier l'interaction fixe incomplète, nous avons choisi d'utiliser un test moins puissant (étude de l'interaction fixe avec les SCE de type II) afin de pouvoir utiliser un maximum de nos données. Nous avons écarté les données d'enlèvement sur le site LONGHI car la présence initiale des pics colorés a perturbé l'enlèvement sur ce site¹⁵.

Les facteurs étudiés sont :

- le facteur fixe méthode (4 modalités : Non marqué/Aimant/Fil/PIT) ;
- le facteur fixe type_site (2 modalités : Sulcatone/Pas de sulcatone) ;
- le facteur aléatoire site (4 modalités : ILOMBA, ALÉATOIRE, NIOVÉ, DOUSSIÉ).

¹⁴ Le nombre de graines de Doussié était limité, nous n'avons donc pas disposé de graines non marquées sur le site DOUSSIÉ, et la sulcatone a été oubliée le jour de l'essai sur le site NIOVÉ

¹⁵ De plus, l'un des pics avait été oublié et laissé en place

Aussi, deux autres analyses de la variance (AV1) ont été réalisées sur Minitab 17 afin d'étudier :

- l'influence de la méthode de marquage sur la distance de dispersion (toutes données disponibles utilisées) ;
- l'influence de l'espèce considérée (facteur fixe, 3 modalités : Ilomba/Niové/Doussié) sur la distance de dispersion (toutes données disponibles utilisées).

Un test χ^2 a été effectué pour comparer la dépendance entre la proportion de graines retrouvées entières et la méthode de marquage utilisée (toutes données disponibles utilisées).

Pour l'influence de la présence ou non de la sulcatone sur la proportion de graines enlevées (toutes données sauf longhi), un test χ^2 a été utilisé de nouveau, ainsi que les résultats de l'analyse de la variance à 3 facteurs citée précédemment.

2.7.1 Rythmes d'activité

En vue d'obtenir des heures d'activité moyennes pour *F. pyrropus* et *C. emini*, des statistiques circulaires (conversion de données temporelles en un angle en radians) ont été utilisées sur le logiciel R (version 3.3.2). Pour cela, les heures auxquelles les différentes espèces ont été observées sont converties en heure numérique puis en radians. Le package « CircStats » permet ensuite d'obtenir un angle moyen représenté par un vecteur dont la direction correspond à l'heure moyenne d'activité (après reconversion en heure numérique). La longueur du vecteur représente le taux d'agrégation de l'activité de l'espèce autour de l'angle moyen, au plus cette valeur est proche de 1 au plus les heures d'activité sont agrégées (Evrard, 2015).

3 RÉSULTATS

3.1 Comparaison des méthodes de marquage

L'ensemble des graines placées et enlevées par site se retrouvent à l'Annexe 2. En remarque préliminaire, les rongeurs ont emporté 12 graines en se débarrassant de la méthode de marquage sur le dispositif même (11 fils et 1 aimant laissés seuls in situ).

Pour trois essais (Essai 1 site ILOMBA, Essai site NIOVÉ et Essai site ALÉATOIRE), des graines non marquées ont été disposées de la même façon que les graines marquées afin de déterminer expérimentalement si les animaux enlevaient de manière significativement différente les graines marquées et non marquées (Tableau 10 – Annexe 3).

Tableau 10 - Pourcentage de graines enlevées en fonction de la méthode pour tous les sites

Méthode	Non marquées	Aimant	Fil	PIT	Total
Enlevé	100%	88%	67%	75%	82%
Total graines disposées	56	56	54	56	222

En étudiant seulement le facteur méthode, la méthode de marquage influence significativement le taux d'enlèvement ($\chi^2 = 24,332$, dl=3, p = 0,000).

Pour les comparaisons 2 à 2 des types de marquage aux graines non marquées, toutes les dépendances étaient significatives, le Tableau 11 résume les résultats des tests χ^2 :

Tableau 11 - Tests d'indépendance (Non marqué VS marquage) (dl=1)

Comparaison	χ^2	Valeur de p
Non marqué VS Aimant	7,467	0,006
Non marqué VS Fil	22,319	0,000
Non marqué VS PIT	16,000	0,000

Nous avons également obtenu une dépendance significative pour la comparaison Fil – Aimant ($\chi^2 = 6,794$, dl=1, p = 0,009). Les autres comparaisons 2 à 2 n'étaient pas significatives.

Concernant l'analyse de la variance, il n'y a pas d'interaction entre les facteurs fixes méthode de marquage et type_site¹⁶ (F = 0.72, dl = 3, p = 0.5516) et il n'y a pas de différence significative entre les différentes modalités du facteur méthode (F = 2.16, dl = 3, p = 0.1248).

3.2 COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ DES MÉTHODES

Le Tableau 12 compare les résultats issus des différentes méthodes de marquage. Quarante-deux % des « tags » ont été retrouvés. La distance moyenne de dispersion est de 6,3±5,9 m. Cette distance ne varie pas significativement selon la méthode utilisée (F=3,00, dl=2, p = 0,054). En moyenne les graines enterrées¹⁷ se situent à une profondeur de 22,6±18,2 cm.

La distance maximale observée a été de 37 m pour les graines avec aimant. Cette distance chute à 11 m lorsque les graines sont équipées d'un fil. Des graines aimantées ont pu être retrouvées jusque 55 cm de profondeur alors que les fils ne peuvent être visuellement détectés qu'en surface.

¹⁶ Facteur fixe type_site (2 modalités : Sulcatone/Pas de sulcatone)

¹⁷ C'est-à-dire enterrées à partir de 5 cm, car les graines enfouies à moins de 5 cm ont été considérées comme enfouies légèrement et la profondeur n'a pas été notée

En moyenne, seulement 20 % des graines retrouvées sont encore intactes. La méthode de marquage n'influence pas significativement cette proportion ($\chi^2 = 5,835$, dl = 2, $p = 0,054$).

Tableau 12 - Proportion graines retrouvées/graines enlevées, distance moyenne de dispersion et proportion de tags retrouvés seuls en fonction de la méthode (basé sur l'entièreté des données)

Méthode de marquage	Aimant	Fil	PIT	Moyenne
Nombre de tags retrouvés	47	34	41	40,7±5,3
Proportion tags retrouvés/graines enlevées (%)	40	64	35	42
Distance moyenne dispersion (m)	7,9±7,9	4,9±2,8	5,8± 4,8	6,3±5,9
Distance maximale (m)	37	11	25	24,4±10,5
Profondeur max de détection d'un tag (cm)	55	0*	40**	22,6±18,2
Proportion tags seuls/nombre de graines retrouvées (%)	77	85	73	78
Proportion graines entières/nombre graines retrouvées (%)	23	6 ¹⁸	27	20

*des fils ont été retrouvés à des profondeurs comprises entre 5 et 20 cm mais grâce à la découverte d'aimants ou de PIT tags à proximité

** des PIT tags ont été retrouvés à 50 et à 55 cm mais grâce à la découverte d'aimants à proximité

Les animaux se sont débarrassés des fils apparemment gênants puisque des fils ont été retrouvés seuls accrochés dans la végétation. Sept fils se situaient à une hauteur inférieure à 50 cm et à une distance moyenne de 4,6±2,3m. Trois fils ont été retrouvés à plus de 50 cm de hauteur et à une distance moyenne de 3,7m±2,5m. Ces fils se situaient sur les dispositifs ILOMBA (7 fils au total), ALÉATOIRE (2) et NIOVÉ (1). En outre, sept vidéos montrent *C. emini* tirant sur les fils sortant de sa bouche à l'aide de ses membres antérieurs.

Huit autres vidéos illustrent la gêne occasionnée par les aimants lorsque plusieurs graines sont stockées dans les poches jugales de *C. emini* (aimants se collant les uns aux autres dans les poches jugales ou s'accrochant à la tête de l'animal, attirés par les graines aimantées déjà présentes à l'intérieur de ses poches jugales ; cf. Figure 16).



Figure 16 - Capture tirée d'une vidéo illustrant les problèmes rencontrés avec les aimants pour *C.*
(vidéo du 5 mai, 4h23bis, dispositif sulcatone site DOUSSIE Essai 2)

¹⁸ 9% des graines avec fils ont été retrouvées rongées

3.3 INFLUENCE DE L'ESPÈCE DISPERSÉE

La Figure 17 représente la dispersion spatiale des éléments retrouvés (graines marquées ou tags seuls). L'influence de l'espèce est significative ($F = 4,68$, $dl = 2$, $p = 0,011$) (Figure 18).

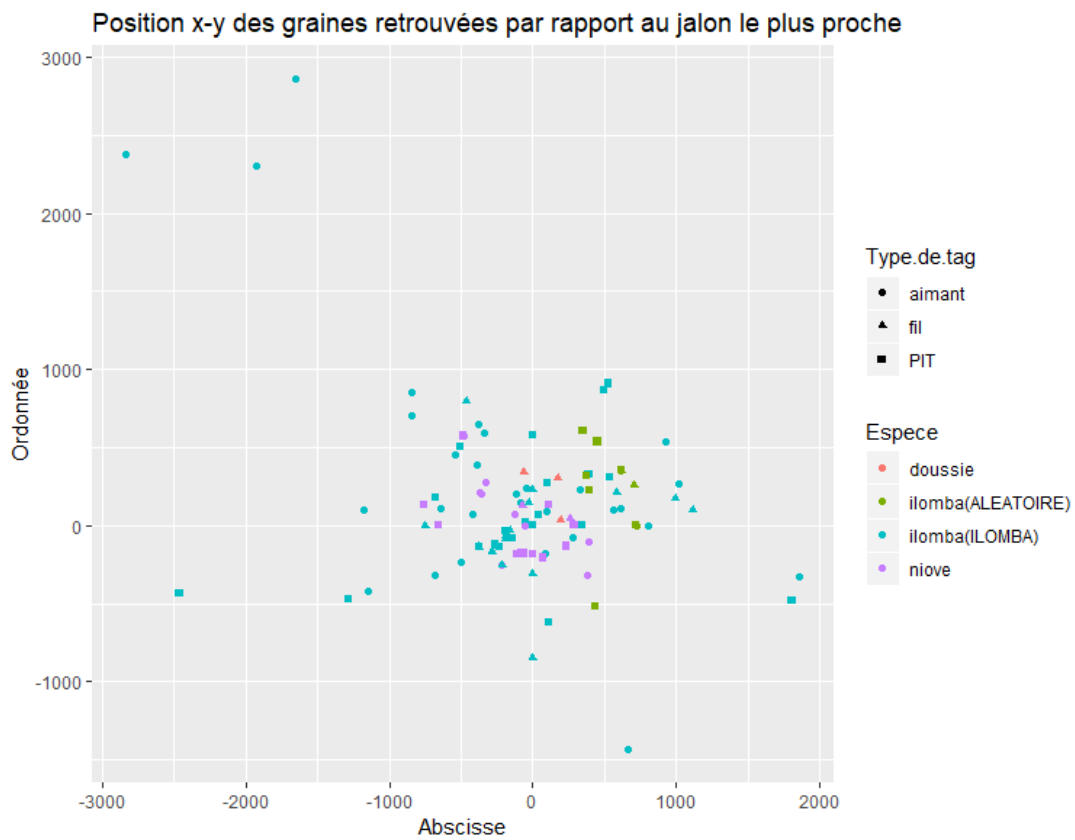


Figure 17 - Position x-y (cm) des éléments retrouvés par rapport au centre des dispositifs d'étude (0,0)

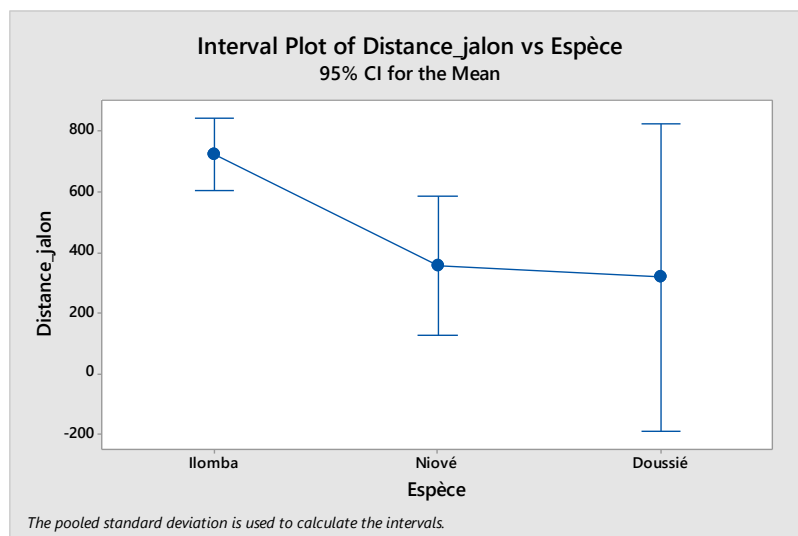


Figure 18 – Graphique des intervalles des distances de dispersion (cm) selon l'espèce

Après avoir effectué le test de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher (Figure 19), nous observons que les distances moyennes de dispersion sont différentes pour les espèces

ilomba et niové comparées 2 à 2 mais pas pour les autres comparaisons. Ce sont les graines d'ilomba qui sont significativement dispersées le plus loin comparativement aux graines de niové.

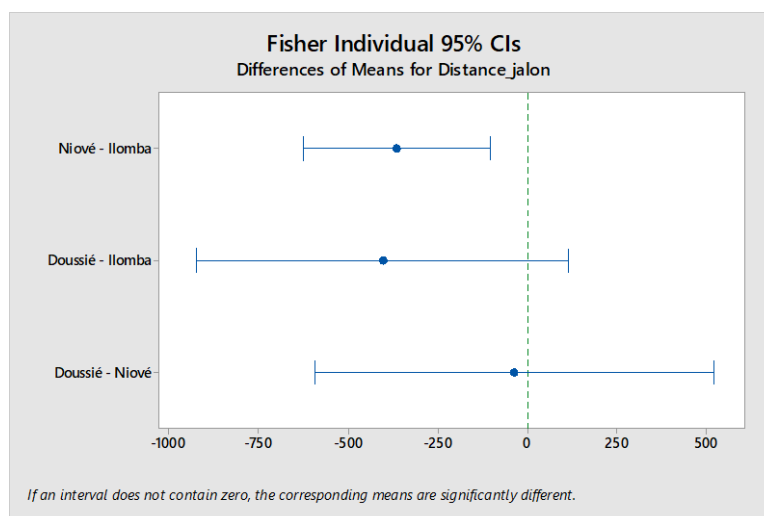


Figure 19 - Graphique des intervalles pour les différences entre les paires de moyennes

3.4 INFLUENCE DES COMPOSÉS VOLATILS DANS L'ATTRACTION DES RONGEURS

3.4.1 Analyse des molécules émises par *Staudtia kamerunensis* et *Pycnanthus angolensis*

Le Tableau 13 détaille les molécules volatiles, détectées pour un ou plusieurs des échantillons et pour lesquelles un lien attractif/répulsif intéressant est renseigné dans la littérature.

Tableau 13 - VOCs identifiés et études correspondantes ayant mis en avant un rôle attractif/répulsif intéressant dans le cadre de ce travail

Molécule	<i>P. angolensis</i>		<i>S. kamerunensis</i>		Rôle	Taxon	Littérature
	F	G	F	G			
3-methylbutanal	X				A	Rat et souris	Takács <i>et al.</i> (2013)
2-heptanone	X	X			A ♂ ?	Souris	Schwende <i>et al.</i> (1984)
					A ♀	Rat	Osada <i>et al.</i> (2009)
					Transmission d'un stress chez les congénères via l'urine	Rat	Gutiérrez-García <i>et al.</i> (2007)
carvone	X				A (R(-)-carvone)	Rat taupe	Heth <i>et al.</i> (1992)
(E)-beta-farnesene	X				A ♀ (tous les isomères « farnésène » en général)	Rat	Zhang <i>et al.</i> (2008)
hexanal	X	X	X		A	Rat	Gawienowski <i>et al.</i> (1979)

myrcene	X	X	X	X	A	Campagnol	Hansen <i>et al.</i> (2016); Schlötterburg <i>et al.</i> (2018)
acétate d'éthyle	X	X	X	X	A	Marsupial	Donaldson & Stoddart (1994)
2-methyl-1-propanol	X	X	X	X	A	Mycophages	Morath <i>et al.</i> (2012)
limonene	X	X	X	X	R	Souris	Jokić <i>et al.</i> (2017)
1,8-cineole	X	X	X	X	R	Rat	Singla <i>et al.</i> (2014)
alpha-pinene	X	X	X	X	R	Rat	Singla <i>et al.</i> (2014)
gamma-terpinene	X		X	X	R	Rat	Singla <i>et al.</i> (2014)
alloocimene			X	X	R	Rat	Singla <i>et al.</i> (2014)
beta-pinene	X		X	X	R (diminue la prise alimentaire)	Ecureuil	Snyder (1992)
<ul style="list-style-type: none"> • Les croix indiquent la présence de la molécule dans le fruit (F) et/ou dans la graine arillée seule (G) de l'espèce considérée • Le rôle de la molécule est soit répulsif (R) soit attractif (A) et le sexe de l'animal (femelle ♀ ou mâle ♂) pour lequel la molécule est attractive est précisé le cas échéant 							

L'ensemble des VOCs détectés et leur temps de rétention peuvent être consultés à l'Annexe 6 dans les Tableaux 24 pour *S. kamerunensis* et 25 pour *P. angolensis*.

En complément des molécules mentionnées ci-dessus, il est également important de noter que de l'éthanol était présent pour tous les échantillons et du 3-hydroxy-2-butanone pour la graine arillée de *P. angolensis*.

3.4.2 Influence de la sulcatone

Le test χ^2 montre une dépendance entre l'enlèvement et le fait d'avoir mis de la sulcatone ($\chi^2 = 26,511$, dl = 1, p = 0,000). L'analyse de la variance à 3 facteurs mixtes croisés n'a pas montré de différence significative dans les moyennes d'enlèvement des graines avec ou sans la molécule attractive (F = 3.89 0, dl = 1, p = 0,0624), néanmoins une p-valeur < 0,1 indique qu'avec un plus grand nombre d'observations nous aurions éventuellement pu mettre en évidence une différence significative.

Pour l'Essai 2 du DOUSSIÉ, après 7 jours toutes les graines avaient été emportées, que ce soit sur le dispositif avec ou sans sulcatone, mais il est intéressant de remarquer que sur le dispositif sulcatone des bouchons contenant la molécule ont été déplacés et rongés alors que ce n'était pas le

cas sur le dispositif sans sulcatone. Nous avons pu observer le rat ronger l'un de ces bouchons sur un enregistrement vidéo.

3.5 RÔLE DES RONGEURS DANS LA DISPERSION

3.5.1 Résultats globaux

La Figure 20 détaille les endroits où ont été retrouvés les 122 éléments (tags ou graines) dispersés. La moitié a été retrouvée au niveau de la litière, 40 % étaient enterrés et 8 % se trouvaient dans la végétation. Seulement 20 % étaient des graines entières alors que la large majorité des éléments (78 %) étaient les tags seuls (Figure 21). Sur les 122 éléments retrouvés 11,5% étaient des graines entières enterrées jusque max. 10 cm (Annexe 7).

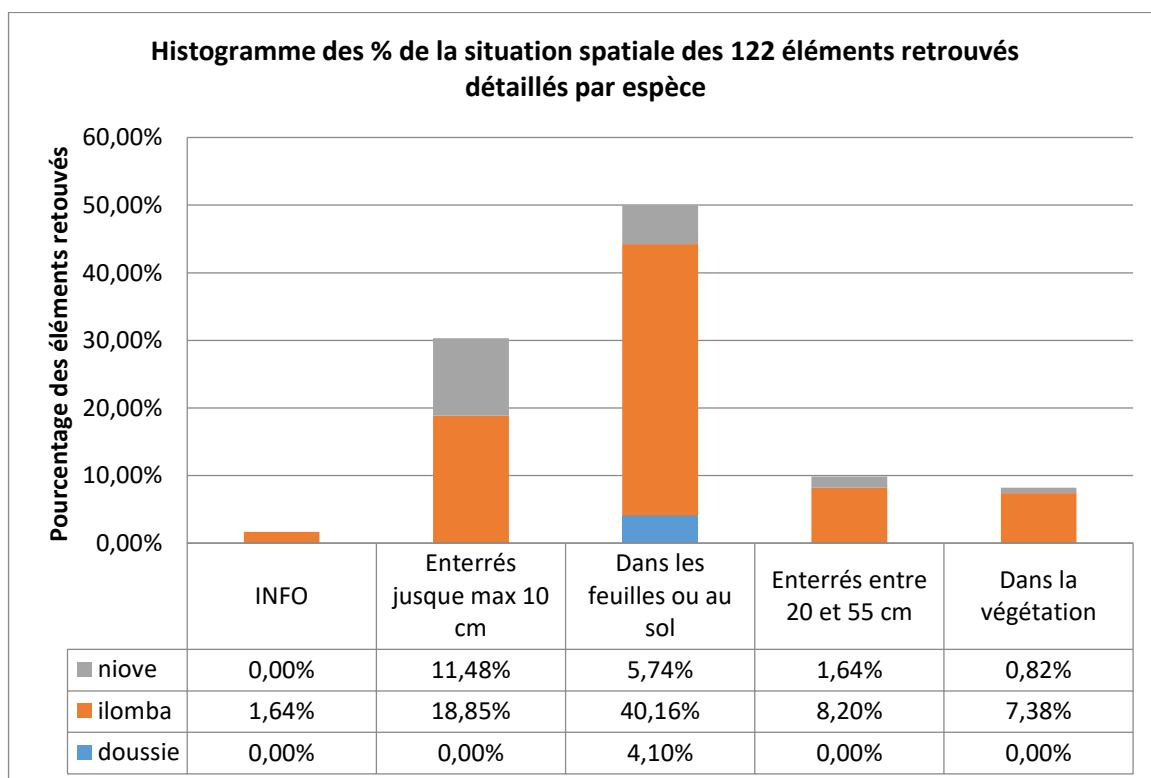


Figure 20 - Situation spatiale des 122 éléments (graines ou tags) retrouvés

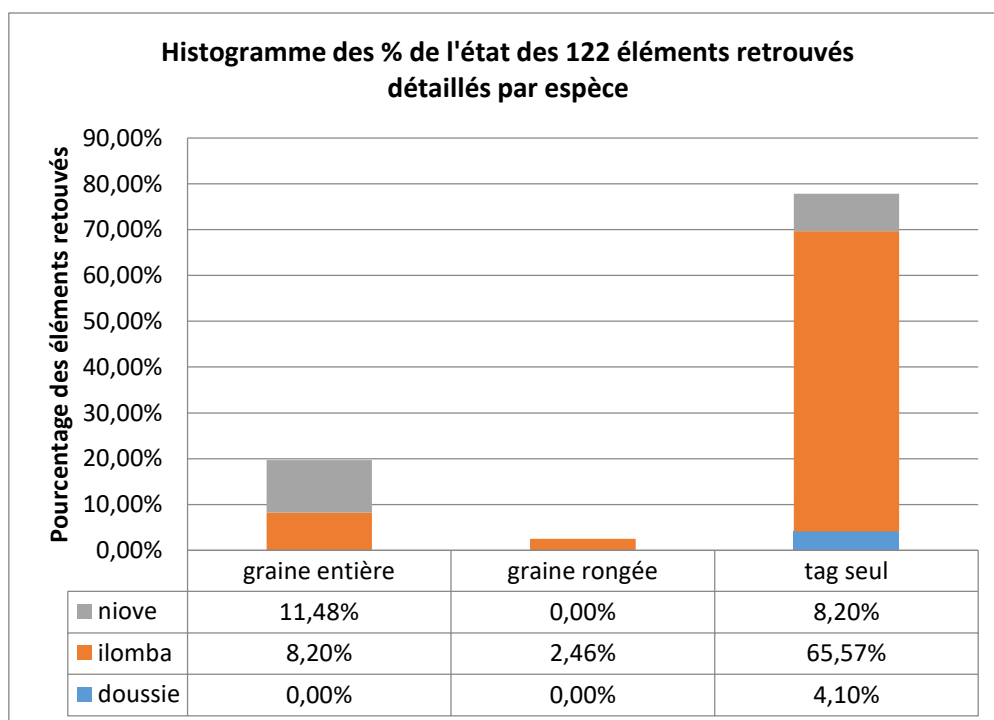


Figure 21 - Etat des 122 éléments retrouvés

Le Tableau 14 présente une synthèse des observations réalisées par les pièges photographiques.

Tableau 14 - Nombre de fois où un taxon a emporté une ou plusieurs graines du dispositif

Espèce végétale (SITE) – Nombre de jours d'observation	Taxon animal	Nombre de fois où l'animal a emporté au minimum une graine
ilomba (ALÉATOIRE) – 7 j	<i>C. emini</i>	1
	<i>Muridae</i>	6
	Total	7
doussié (DOUSSIÉ) – 16 j	<i>C. emini</i>	7
	Total	7
ilomba (ILOMBA) – 5 j	<i>F. pyrropus</i>	21
	Total	21
longhi (LONGHI) – 21 j	<i>C. emini</i>	2
	Total	2
niové (NIOVÉ) – 2 j	<i>Muridae</i>	2
	Total	2
Total		39

Les pièges photographiques ont enregistré d'autres taxons n'ayant pas emporté de graines. Ainsi, tous les taxons identifiés via les caméras sont repris en Annexe 4.

Avec plus de 85% de détections de *F. pyrropus* sur 105 enregistrements d'animaux sur le site ILOMBA (Annexe 4), ce site peut être associé à une dispersion principale par *F. pyrropus*. Tandis que les sites DOUSSIÉ et LONGHI peuvent être associés à une dispersion par *C. emini*. En effet, plus de la moitié des détections sont associées à ce dernier pour les deux sites (Annexe 4). Le manque d'enregistrements où *C. emini* emporte des graines au LONGHI s'explique par un positionnement

trop haut du champ de vision des pièges. Cependant, les enregistrements ont tout de même permis de mettre en évidence un rat d'Emin emportant au minimum 5 graines la nuit suivant le placement des graines. Par ailleurs, durant cette même nuit, un rat avec des poches jugales remplies a été observé en train de quitter l'emplacement des graines.

Par contre, sur le site NIOVÉ, les graines dispersées retrouvées ne peuvent pas être associées à un taxon en particulier. En effet, sauf dans le cas de deux vidéos mettant en évidence un *Muridae* emportant des graines marquées, après deux jours de fonctionnement, le piège photographique ne fonctionnait plus pour des raisons inconnues. Lors de la phase de recherche des graines 11 des 24 tags retrouvés étaient enfouis légèrement et 3 se trouvaient dans un terrier de *Muridae*.

Enfin, sur le site ALÉATOIRE (graines d'ilomba), ce sont principalement des *Muridae* qui sont passés devant les pièges photographiques (près de 80% du total des détections). Un ou des rat(s) d'Emin (13% des détections) semblaient également s'intéresser aux graines (Annexe 4).

En observant les vidéos, il s'avère *F. pyrropus* emporte une seule graine à la fois alors que *C. emini* peut en prendre jusque cinq (pour les graines de longhi comme pour les graines de doussié).

3.5.2 Rythmes d'activité

Les heures d'activité moyenne ainsi que la p-valeur et la valeur du test de Rayleigh qui leur sont associées sont détaillées dans le Tableau 15.

Tableau 15 - Résultats heures d'activité moyenne (statistiques circulaires)

Espèce	N	Heure moyenne d'activité	p-valeur	R ²
<i>C. emini</i> (toutes données)	61	2h05	1,02E-26	0,9905
<i>C. emini</i> (<2h30)	28	23h08	1,68E-11	0,9844
<i>C. emini</i> (>2h30)	33	4h02	8,87E-14	1,0000
<i>F. pyrropus</i>	94	13h58	2,32E-41	0,9977
<i>F. pyrropus</i> (<10h30)	27	7h27	2,05E-11	0,9999
<i>F. pyrropus</i> (>10h30)	67	15h38	8,35E-30	0,9997

Des histogrammes détaillant la fréquence d'activité par classe d'heure ont été réalisés pour chaque espèce (Figure 22 & Figure 23).

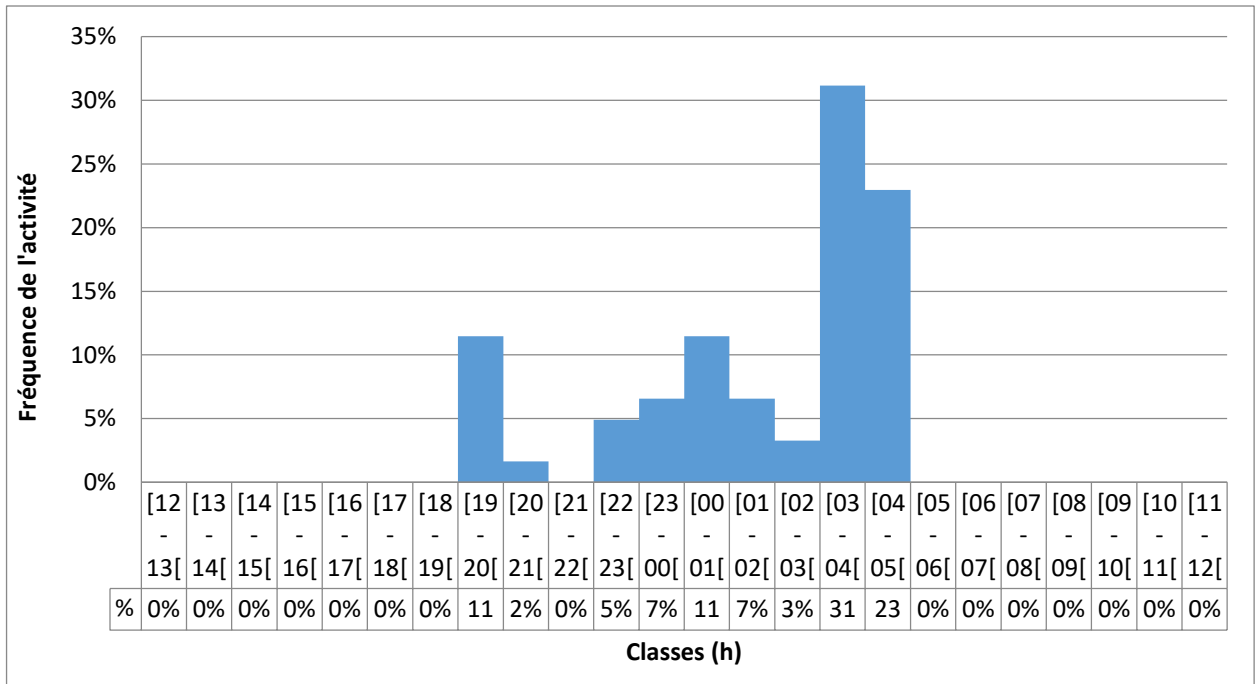


Figure 22 - Histogramme des heures d'activité de *C. emini*, N=61

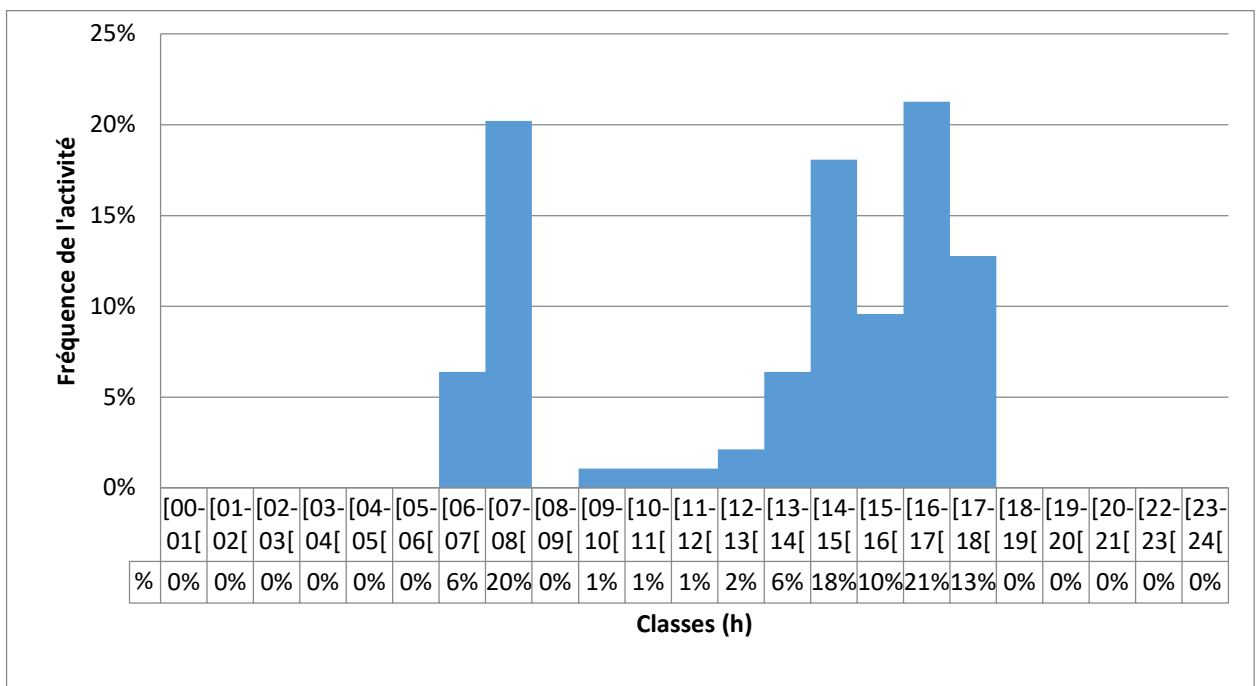


Figure 23 – Histogramme des heures d'activité de *F. pyrropus*, N=94

Tous les graphes circulaires de l'activité des deux rongeurs, selon que les données soient scindées ou non, se trouvent à l'Annexe 5 pour une représentation visuelle différente de la répartition horaire des données.

3.5.3 Dispersion par *F. pyrropus*

3.5.3.1 Graines présentes dans les caches associées à *F. pyrropus*

Le Tableau 16 reprend les graines retrouvées dans les 4 caches associées à *F. pyrropus* ainsi que leur état et viabilité potentielle. Ainsi, plus de 40% des graines se trouvant dans ces caches étaient entières et plus de 30 % étaient potentiellement viables.

Tableau 16 - Nombre de diaspores associées aux caches de *F. pyrropus* découvertes à l'aide des tags (classées par famille et par espèce)

Famille/espèce ou genre	Nombre de graines	% ent.	% pot. viable
Areaceae			
<i>Raphia spp.</i>	11	63,64 %	54,55 %
Chrysobalanaceae			
<i>Parinari cf. excelsa</i>	5	0 %	0 %
Euphorbiaceae			
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	1	100 %	100 %
Myristicaceae			
<i>Staudtia kamerunensis</i> ¹⁹	1	0 %	0 %
Strombosiaceae			
<i>Strombosiopsis tetrandra</i>	2	0 %	0 %
2 espèces NA	3	66,67 %	0 %
Total général	23	43,48%	30,43%
<ul style="list-style-type: none"> - Nbre de graines : nombre de graines trouvées au sein des 4 caches grâce aux tags - % ent. : Nbre de graines entières / Nbre total de graines du taxon correspondant (%) - % pot. viable : Nbre de graines pot. viables / Nbre tot. de graines du taxon correspondant (%) 			

3.5.3.2 Caractéristiques des graines d'ilomba dispersées par *F. pyrropus* (site ILOMBA)

La Figure 24 synthétise le type de stockage, les situations spatiales, l'état et les distances des 72 éléments²⁰ dispersés par *F. pyrropus*. Il s'avère que l'écureuil a dispersé les éléments en moyenne à ~ 7m avec un maximum à 37m. Finalement, seules 4 % des graines sont dans des conditions propices à la germination (entières et légèrement enfouies). De façon générale, les graines entières ne sont transportées que sur de courtes distances, en moyenne 2,3 m et au maximum 5,5 m (Tableau 17).

¹⁹ Un morceau de graine de *Staudtia kamerunensis* a été retrouvé là où un tag seul avait été enterré sur le site Ilomba (*Pycnanthus angolensis*), ce n'était donc pas une graine mise à disposition des rongeurs.

²⁰ En réalité 75 graines marquées ont été retrouvées sur le site ILOMBA mais l'info d'1 aimant a été perdue car il a été retrouvé collé à la pelle, 1 aimant est associé aux *Muridae* (terrier - 40 cm de profondeur) et 1 graine entière (PIT) est associée à *C. emini* (terrier - 35 cm prof.)

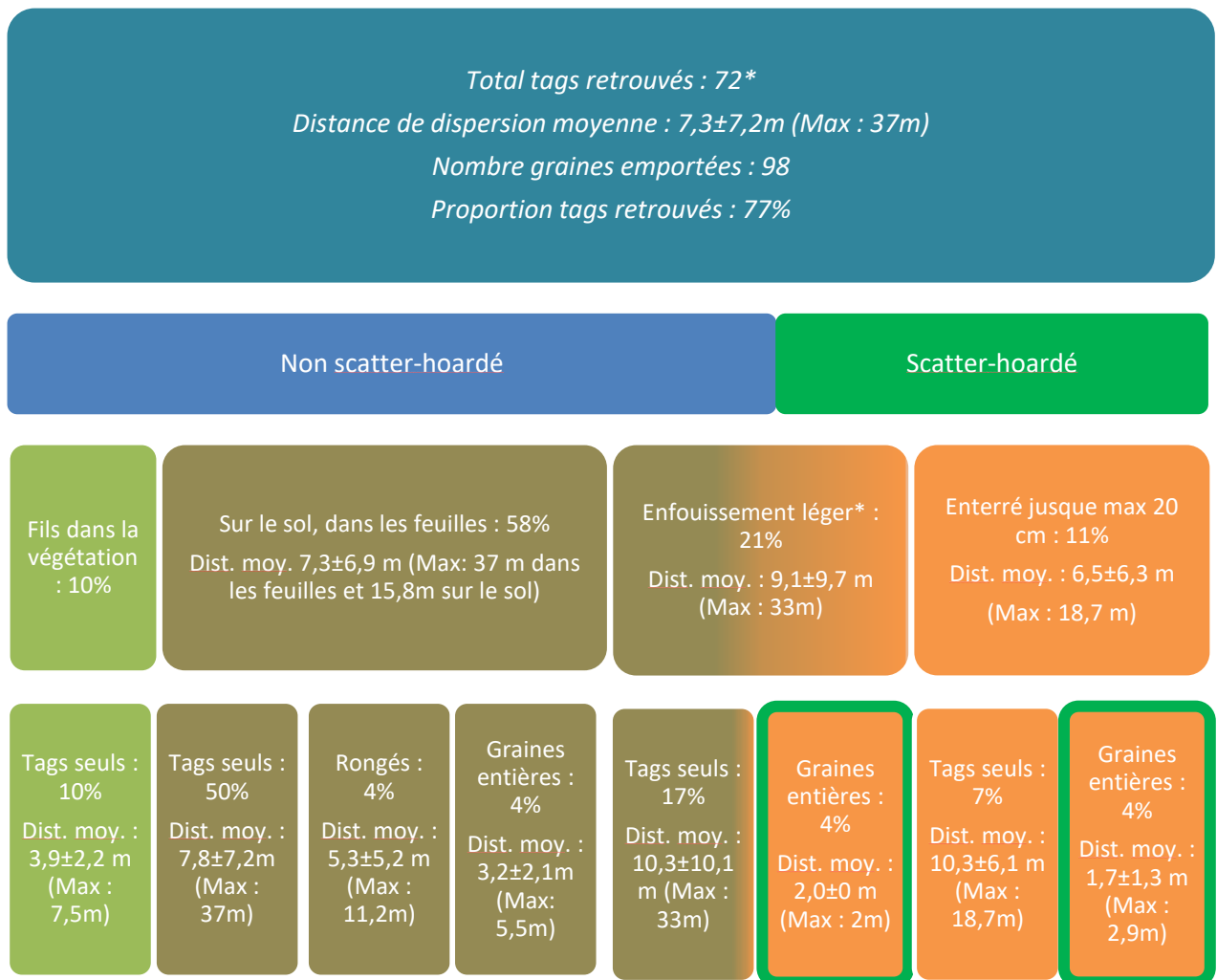


Figure 24 - Caractéristiques des éléments retrouvés associées à une dispersion par *F. pyrropus* (site ILOMBA)

*La notion « enfouissement léger » reprend les graines enfouies à moins de 5 cm de profondeur, à partir de 5 cm les graines sont considérées comme « enterrées »

Tableau 17 - Etat et distance de dispersion des graines associées à *F. pyrropus*

Etat graine	% total	Distance moyenne	Distance maximale
Entière	13%	2,3±1,5m	5,5m
Rongée	4%	5,3±5,2m	11,2m
Tag seul	83%	8,0±7,5m	37,0m
Total général	72	7,2±7,1m	37,0m

3.5.4 Dispersion par *C. emini*

3.5.4.1 Caractéristiques des graines probablement dispersées par *C. emini* (sites DOUSSIE et LONGHI)

La Figure 25 présente les données associées à une dispersion par *C. emini* via les 5 fils seuls récupérés à proximité des dispositifs en place des graines. Nous en concluons que 96% des tags n'ont pu être retrouvés dans un rayon de 50m et qu'aucun comportement de scatter-hoarding n'a pu être mis en évidence.

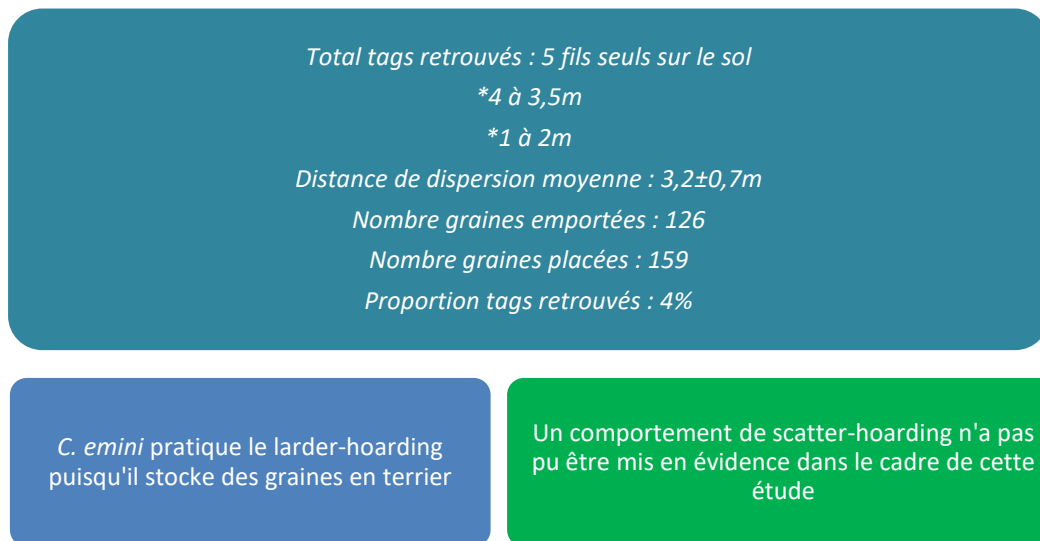


Figure 25 - Caractéristiques des graines retrouvées associées à une dispersion par *C. emini* (sites DOUSSIÉ et LONGHI)

3.5.4.2 Fouille des terriers de *C. emini*

Le Tableau 18 détaille le nombre de terriers par site ainsi que les distances moyennes, minimum et maximum et écart-types des terriers pour chaque site.

Tableau 18 - Synthèse des distances des terriers explorés au dispositif le plus proche

Site	Distance moyenne (m)	Ecart-type (m)	Distance minimale (m)	Distance maximale (m)	Nombre de terriers
DOUSSIÉ	30,8	20,8	2,5	51	5
LONGHI	48,4	34,4	13	90	8

En moyenne les terriers renfermaient $1,6 \pm 0,9$ chambre de stockage avec un maximum de 3 chambres pour trois des terriers. Treize des chambres présentaient des feuilles et neuf autres n'en présentaient pas. Deux chambres présentaient de très vieilles feuilles. Les profondeurs des chambres variaient entre 15 et 60 cm avec une moyenne de $36 \pm 11,4$ cm de profondeur.

Au total les 14 terriers explorés abritaient au minimum 19 familles et 69 espèces différentes (dont 38 indéterminées). 2641 morceaux de diaspores ou diaspores ont été comptés. Ainsi, il a été estimé sur analyse visuelle que ceux-ci correspondaient à un minimum de 1882 diaspores différentes.

En moyenne, chaque terrier contenait 134 ± 244 graines distinctes (min : 9, max : 969), 12 ± 10 genres/espèces différentes (min : 3, max : 40) et au moins 6 ± 3 familles (min : 2, max : 11).

Les 6 familles prépondérantes sont respectivement les *Phyllanthaceae*, *Aptandraceae* ou *Strombosiaceae* (incertitude d'identification), *Pandaceae*, *Annonaceae*, *Urticaceae* et *Arecaceae*. Elles représentent à elles seules 73% du nombre de diaspores total. La Figure 26 illustre leur importance relative au sein des terriers.

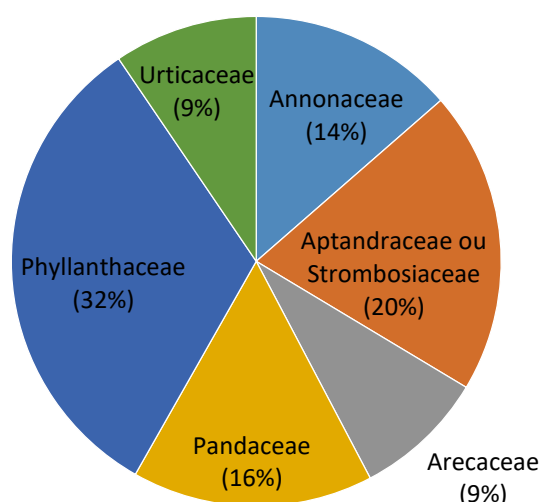


Figure 26 - Proportion des 6 familles prépondérantes au sein des 14 terriers

Le Tableau 19 reprend le nombre de diaspores (en morceaux ou entières) pouvant être comptabilisées comme des graines/fruits distincts trouvées au sein des terriers. Il détaille également le % de diaspores entières et viables/potentiellement viables. Nous observons que 35% des diaspores étaient entières et 6% viables ou potentiellement (~1% viable et 5% potentiellement). Nous avons donc un total de 661 graines entières et parmi celles-ci : 87 graines potentiellement viables et 21 graines viables.

Tableau 19 - Nombre et proportion de diaspores entières et viables/potentiellement viables retrouvées dans les terriers de *C. emini* (classées par famille et espèce ou genre)

Taxon	Nbre de diaspores	% total	% entières	% viables
Anacardiaceae	4	0,2%	25,0%	0,0%
<i>Antrocaryon klaineum</i>	2	0,1%	0,0%	0,0%
<i>Antrocaryon nannanii</i>	2	0,1%	50,0%	0,0%
Annonaceae	186	9,9%	62,4%	1,6%
<i>Annickia chloranta</i>	69	3,7%	34,8%	0,0%
<i>Anonidium mannii</i>	1	0,1%	0,0%	0,0%
<i>Cleistopholis patens</i>	4	0,2%	75,0%	0,0%
<i>Greenwayodendron suaveolens</i>	67	3,6%	80,6%	1,5%
<i>Uvariastrum pierreanum</i>	32	1,7%	93,8%	3,1%
<i>Xylopiya aethiopica</i>	1	0,1%	0,0%	0,0%
5 sp NI	12	0,6%	41,7%	8,3%
Aptandraceae ou Strombosiaceae	274	14,6%	8,0%	5,8%
<i>Ongokea gore</i> ou <i>Strombosia scheffleri</i>	274	14,6%	8,0%	5,8%
Arecaceae	118	6,3%	50,8%	16,9%
<i>Raphia spp.</i>	118	6,3%	50,8%	16,9%
Burseraceae	7	0,4%	0,0%	0,0%

<i>Canarium schweinfurthii</i>	7	0,4%	0,0%	0,0%
Chrysobalanaceae	19	1,0%	31,6%	5,3%
<i>Parinari cf. excelsa</i>	19	1,0%	31,6%	5,3%
Combretaceae	77	4,1%	2,6%	0,0%
<i>Terminalia superba</i>	77	4,1%	2,6%	0,0%
Euphorbiaceae	14	0,7%	57,1%	14,3%
<i>Plagiostyles africana</i>	9	0,5%	77,8%	11,1%
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	5	0,3%	20,0%	20,0%
Fabaceae (Mimosoïdeae)	38	2,0%	23,7%	21,1%
<i>Pentaclethra macrophylla</i>	38	2,0%	23,7%	21,1%
Irvingiaceae	27	1,4%	14,8%	3,7%
<i>Irvingia cf. robur</i>	4	0,2%	25,0%	25,0%
<i>Irvingia sp.</i>	11	0,6%	27,3%	0,0%
<i>Klainedoxa gabonensis</i>	12	0,6%	0,0%	0,0%
Myristicaceae	13	0,7%	46,2%	46,2%
<i>Staudtia kamerunensis</i>	13	0,7%	46,2%	46,2%
NA	228	12,1%	32,9%	8,8%
NI	1	0,1%	0,0%	0,0%
33 sp NI	227	12,1%	33,0%	8,8%
Pandaceae	219	11,6%	31,1%	13,2%
<i>Panda oleosa</i>	219	11,6%	31,1%	13,2%
Phyllanthaceae	442	23,5%	53,8%	0,2%
<i>Keayodendron bridelioides</i>	1	0,1%	0,0%	0,0%
<i>Uapaca spp. (grande)</i>	7	0,4%	42,9%	0,0%
<i>Uapaca spp. (petite)</i>	434	23,1%	54,1%	0,2%
Rubiaceae	2	0,1%	0,0%	0,0%
<i>Nauclea diderrichii</i>	2	0,1%	0,0%	0,0%
Salicaceae	1	0,1%	0,0%	0,0%
<i>Oncoba glauca</i>	1	0,1%	0,0%	0,0%
Sapindaceae	12	0,6%	100,0%	91,7%
<i>Blighia welwitschii</i>	12	0,6%	100,0%	91,7%
Sapotaceae	54	2,9%	9,3%	0,0%
<i>Chrysophyllum sp33</i>	41	2,2%	0,0%	0,0%
<i>Chrysophyllum spp.</i>	13	0,7%	38,5%	0,0%
Strombosiaceae	17	0,9%	0,0%	0,0%
<i>Strombosiopsis tetrandra</i>	17	0,9%	0,0%	0,0%
Urticaceae	130	6,9%	22,3%	0,8%
<i>Myrianthus arboreus</i>	130	6,9%	22,3%	0,8%
Total général	1882	100,0%	35,1%	6,3%
- Nbre de diaspores : nombre de diaspores considérées comme distinctes appartenant au taxon considéré				
- % total : Nbre de diaspores / Nbre total de diaspores (%)				
- % entières : Nbre de diaspores entières / Nbre de diaspores du taxon (%)				
- % viables : Nbre de diaspores viables ou potentiellement viables / Nbre de diaspores du taxon (%)				

3.6 COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ DES MÉTHODES EN FONCTION DU TYPE DE SOL

Le Tableau 20 illustre la puissance de signal envoyé par l'antenne RFID nécessaire pour détecter le PIT tag, en fonction du type de sol et de la hauteur de l'appareil. Le ferralsol nécessite une plus grande puissance (93%) pour détecter le tag ou le tag n'y est absolument pas détecté (même avec la puissance de signal maximale (100%)), c'est donc le sol dans lequel le PIT tag est le moins bien détecté en profondeur. Le plinthosol donne la meilleure détectabilité en profondeur avec une puissance nécessaire de signal plus faible (66 et 86%). Nous constatons dans la colonne « PIT tag combiné avec un aimant » que la présence de l'aimant demande d'envoyer un signal plus puissant pour détecter le PIT tag à la même profondeur, la présence de l'aimant diminue donc la détectabilité du PIT tag par l'appareil RFID.

Tableau 20 - Tests de détection en fonction du type de sol avec l'appareil RFID (35cm profondeur)

Détection d'un PIT tag à 35 cm de profondeur			
Type de sol	Distance entre l'appareil et le sol (cm)	Puissance minimale ²¹ du signal envoyé pour détecter le tag	
		PIT tag seul	PIT tag combiné avec un aimant
Acrisol	5	80%	86%
Ferralsol	5	93%	pas de détection
Plinthosol	5	66%	/
Acrisol	10	93%	100%
Ferralsol	10	pas de détection	pas de détection
Plinthosol	10	86%	/
<i>/ : pas de donnée pour cause de pluie (seule journée possible pour tests sur plinthosol)</i>			

Le Tableau 21 permet d'observer que les aimants à 35 cm de profondeur étaient mieux détectés sur le plinthosol et moins bien sur le ferrasol. La présence d'un PIT tag ne perturbait pas la détectabilité de l'aimant par le détecteur magnétique. Le Tableau 22 confirme qu'à 55 cm l'aimant est mieux détecté dans l'acrisol que dans le ferrasol mais nous n'avons aucune donnée pour le plinthosol puisqu'il était impossible de le creuser jusqu'à 55cm.

Tableau 21 - Tests de détection en fonction du type de sol avec le détecteur magnétique (35cm profondeur)

Détection d'un aimant à 35 cm de profondeur		
Type de sol	Sensibilité détecteur magnétique	Force du signal
Acrisol	3	suffisante
	4	forte
	5	forte
Ferralsol	3	faible
	4	suffisante
	5	forte
Plinthosol	3	forte
	4	forte
	5	forte
<i>n-b : Il n'y avait pas de différence notable lorsque qu'un PIT tag était présent avec l'aimant dans la qualité de détection de l'aimant</i>		

²¹ Puissance du signal de l'antenne à partir de laquelle le PIT tag était détecté

Tableau 22 - Tests de détection en fonction du type de sol avec le détecteur magnétique (55cm profondeur)

Détection d'un aimant à 55 cm de profondeur		
Type de sol	Sensibilité détecteur magnétique	Force du signal
Acrisol	3	pas de détection
	4	suffisante
	5	forte
Ferralsol	3	pas de détection
	4	faible
	5	suffisante
Plinthosol	Impossible de creuser le plinthosol au-delà de 40 cm de profondeur car énormément de graviers dès 30 cm.	

Le Tableau 23 semble indiquer que les plinthosols donnent davantage de faux positifs.

Tableau 23 - Tests de détection de faux positifs en fonction du type de sol (détecteur magnétique)

Nombre de fois où le détecteur donne un faux positif sur un carré de 5 X 5 m				
Type de sol	Essai	Niveau sensibilité	Nombre de faux positifs	Commentaire
Acrisol	1	4	1	
	2		0	
Ferralsol	1		1	1 X pour un câble
	2		3	
Plinthosol	1		7	
	2		4	

4 DISCUSSION

4.1 SUIVI DE LA DISPERSION DES GRAINES

4.1.1 Méthode de marquage

4.1.1.1 Influence de la méthode utilisée sur l'enlèvement et gêne générée par les marquages

La proportion d'enlèvement des graines est significativement dépendante de la méthode si l'on compare les graines non marquées (100% d'enlèvement) aux graines marquées (88% pour les aimants, 67% pour les fils, et 75% pour les PIT tags). Les trois méthodes peuvent donc être supposées gênantes pour les rongeurs avec une gêne plus conséquente avec les PIT tags et les fils. Il serait intéressant de répéter l'expérience sur un nombre plus important de graines. En effet, Hirsch *et al.* (2012) ont montré des différences non significatives dans l'enlèvement des graines alors que les méthodes qu'ils ont utilisées paraissent comparables dans la gêne occasionnée (marquage avec des fils traditionnels, avec un émetteur radio accroché par un fil en acier de 30 cm et des graines non marquées). Ils ont utilisé environ 3 fois plus de graines et de sites que pour notre étude. Ils avaient obtenu des taux d'enlèvement de 92%, 87 % et 94% respectivement pour les graines non marquées, marquées avec des fils traditionnels et avec des émetteurs. Cependant, il faut garder à l'esprit que l'espèce de rongeur (*Dasyprocta punctata*) qui était ciblée lors de cette expérience transporte les graines de façon différente et devait sans doute être moins gênée par les marquages utilisés. En effet, le genre *Dasyprocta* est strictement terrestre (Jorge & Howe, 2009) et l'espèce *D. punctata* transporte les graines dans sa bouche de façon individuelle dans des caches très dispersées (Jansen *et al.*, 2010).

Sur les vidéos, nous pouvons observer *F. pyrropus* transportant lui aussi les graines de façon individuelle dans sa bouche et recherchant sa nourriture au sol, mais il grimpe et effectue des sauts dans la végétation du sous-bois. Tandis que *C. emini* transporte les graines dans ses poches jugales.

Il avait été supposé pour cette étude que la méthode fils gênerait *C. emini* sur base de ce qui avait été observé dans l'étude de Tosso *et al.* (2017), dans laquelle le rat d'Emin plaçait une douzaine de graines de *Guibourtia tessmannii* dans ses poches jugales. Dans notre étude, *C. emini* a été observé plaçant jusqu'à 5 graines d'*Afzelia bipindensis* (doussié) comme de *Chrysophyllum spp.* (longhi) dans ses poches, et nous pouvons supposer qu'il peut facilement en mettre un plus grand nombre comparativement à la quantité stockée dans ses poches sur d'autres vidéos. Cependant, placer cinq graines de doussié ou de longhi avec des fils sortant de sa bouche ou des aimants s'accolant les uns aux autres paraissait difficile pour le rat. Notre hypothèse a été confirmée grâce aux pièges photographiques qui nous ont ainsi permis de constater la gêne occasionnée par la présence des fils. Ainsi, des vidéos montrent l'animal tirant fermement sur les fils à l'aide de ses pattes antérieures pour tenter de les arracher. D'ailleurs, une partie des fils a été retrouvée sur le dispositif à l'endroit même où les graines avaient été placées. La méthode perd alors de son sens puisqu'il n'y a plus moyen de retrouver les graines emportées.

Enfin, huit vidéos du rat au DOUSSIÉ illustrent également de gros problèmes rencontrés avec la méthode aimants. Deux des vidéos montrent le rat sursautant alors qu'une graine aimantée qu'il ramasse au sol s'accroche à un autre déjà présente dans ses poches jugales. Et, sur plusieurs vidéos, les aimants sont observés accolés les uns aux autres, sortis des graines, à l'extérieur ou dans la bouche du rat (cf. Figure 16). Ce problème d'aimants qui s'attirent avait été envisagé et les vidéos permettent donc de prouver que les aimants ne sont pas une méthode adéquate pour des rongeurs possédant des poches jugales.

En consultant le Tableau 12, une plus faible distance moyenne de dispersion est observée pour la méthode « Fil ». Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les animaux s'en débarrassent. Un nombre plus grand de tags retrouvés seuls pour cette méthode appuie également cette hypothèse.

Sur certains sites, principalement l'ILOMBA associé à une dispersion par *F. pyrropus*, des fils ont également été retrouvés à des distances et des hauteurs diverses dans la végétation. L'animal a sans doute rongé la graine afin de se débarrasser du fil (un seul fil trouvé coupé). C'est d'ailleurs la seule méthode pour laquelle des graines ont été retrouvées partiellement rongées. Si les fils restent accrochés en hauteur nous pouvons supposer qu'ils gênent l'écureuil dans ses déplacements.

4.1.1.2 Avantages et inconvénients des méthodes utilisées

Comparativement aux deux autres méthodes, le détecteur magnétique a permis de récupérer des tags plus en profondeur. De fait, les PIT tags retrouvés à plus de 50 cm ont été détectés suite à la découverte d'aimants. Au vu des tests de détection réalisés avec le détecteur magnétique, une profondeur maximale de détection de 35-40 cm est possible (cf. tests de détection du Tableau 21, à 35 cm niveau de sensibilité 4 - le plus utilisé en pratique - suffisant sur le ferralsol). Le détecteur magnétique se manie mieux dans une végétation encombrée : il se glisse aisément dans les entrées de terriers, sous des racines échasses, entre des contreforts, etc. Par contre, cette méthode nécessite une étude préliminaire pour déterminer si la zone étudiée convient ou non à l'utilisation d'un détecteur magnétique. De fait, sans que nous ayons pu en déterminer la raison, une surface importante du site ALÉATOIRE était fortement perturbée par le magnétisme de la terre en elle-même et nous aurions été incapables de distinguer un aimant sur cette surface en particulier tant la perturbation était importante. Comme le suggèrent les essais théoriques (cf. Tableaux 20 à 23), le nombre de faux positifs peut se révéler plus important sur certains types de sol et la détectabilité peut également être affectée. Aussi, l'utilisateur du détecteur ne peut rien porter qui puisse perturber la détection (pas de ceinture, bijoux, GPS, téléphone, chaussures de sécurité, etc.). Enfin, les aimants non récupérés, s'ils ne sont pas marqués, empêchent d'effectuer une autre étude avec la même méthode à un autre moment sur le même site.

Il serait donc judicieux de trouver un moyen rapide et durable de marquer individuellement les aimants sans les abîmer. Ainsi Alverson & Diaz (1989) conseillaient déjà de les marquer avec une lime de joaillerie. Cependant, les aimants en néodyme, qui sont plus puissants et donc plus facilement détectables pour une taille réduite, sont sensibles à l'humidité s'ils ne sont pas revêtus (Alverson & Diaz, 1989). Graver des codes dessus risque donc de les altérer. Un essai d'identification a été réalisé à l'aide de morceaux de bande collante, sans succès. La bande collante glissait lors de l'insertion de l'aimant dans la graine. Par contre, un chiffre peut être inscrit au marqueur à l'alcool fin sur la partie plane du cylindre aimanté qui sera glissée vers l'intérieur de la graine. Nous craignons que l'odeur du marqueur à l'alcool ne repousse les rongeurs mais ils n'ont apparemment pas été affectés puisque la quasi-totalité des aimants de l'Essai 2 DOUSSIE et des dispositifs LONGHI sans pics ont été enlevés alors qu'ils comportaient chacun un numéro. Cependant, réitérer plus d'essais pour exclure de façon significative un impact de l'odeur de l'encre serait intéressant. De plus, n'ayant pas retrouvé ces graines marquées, nous n'avons pas pu vérifier si le marquage s'effaçait au contact de l'humidité.

A l'inverse des fils, les rongeurs n'arrivent pas à retirer les PIT tags (Suselbeek *et al.*, 2013) et, contrairement aux aimants, le fait que plusieurs PIT tags soient emportés ensemble ne pose aucun problème. La profondeur maximale à laquelle un PIT tag ait été retrouvé, sans avoir été retrouvé grâce à un aimant au même endroit, était de 40 cm. Mais cela reste une valeur maximale exceptionnelle et les essais théoriques ont montré qu'à 35 cm de profondeur et 10 cm de hauteur par rapport au sol, le tag pouvait ne pas être détecté (pour le ferralsol, cf. Tableau 20). De ce fait, les graines ne devraient pas être enterrées à une profondeur dépassant 20 - 25 cm pour l'utilisation de cette méthode (il est en effet difficile de maintenir seulement 10 cm entre l'antenne et le sol). Pour une étude où il est important de savoir d'où provient la graine et quand elle a été placée, les PIT tags sont conseillés car ils possèdent chacun un identifiant unique. De plus, le détecteur RFID présente le grand avantage de ne jamais détecter de faux positifs et les PIT tags peuvent fonctionner de manière

« infinie » (Suselbeek *et al.*, 2013). Ils permettent donc de suivre des déplacements successifs sans avoir à déterrer la graine (à l’instar des émetteurs radio laissés dans le sol par Hirsch *et al.* (2012), Jansen *et al.* (2012) ou encore Rosin & Poulsen (2017)). Comme avancé par Suselbeek *et al.* (2013), le détecteur RFID est effectivement conseillé pour les études de « scatter-hoarding » dans lesquelles les graines sont enfouies peu profondément.

Pour la méthode « Fil », nous avons choisi de ne pas accrocher de « drapeau coloré » (« *flagging tape label* ») aux fils et de nous contenter d’un fil jaune fluorescent. Nous supposons qu’une lampe torche UV nous aiderait à facilement repérer les fils dans la pénombre du sous-bois et que des fils simples gêneraient moins le rat dans ses mouvements s’il prenait, comme attendu, plusieurs graines à la fois. Nous conseillons pour des études similaires de ne plus utiliser de fil fluorescent mais bien le « *flagging tape label* », qui permet de surcroît d’avoir une identification des fils. Nous ne pensons pas qu’utiliser des fils plus solides (fil de pêche en acier par exemple) puisse empêcher tous les rongeurs de se débarrasser du fil puisque nous soupçonnons *F. pyrropus* de ronger la graine plutôt que de couper le fil. Par contre, *C. emini*, qui tire sur les graines avec ses membres antérieurs, aurait sans doute plus de mal avec un fil en acier mais pourrait être plus incommodé.

Les méthodes PIT tags et aimants présentent le désavantage de ne pas pouvoir suivre une germination et un établissement puisqu’il faut forer la graine. Bien que le détecteur magnétique soit plus efficace pour retrouver des tags à une plus grande distance de dispersion (Tableau 12), le temps nécessaire à la recherche des graines marquées est considérable, ce qui explique que les recherches se soient centrées dans un rayon de 50 mètres autour des dispositifs avec des pointes dans des directions aléatoires. En effet l’effort de recherche augmente exponentiellement avec le rayon de de recherche (Hirsch *et al.*, 2012). D’ailleurs Suselbeek *et al.* (2013) conseillaient le RFID pour des distances de dispersion n’excédant pas 50 m.

Concernant le coût des méthodes, le Tableau 8 montre que les coûts d’achat des systèmes de détection sont non négligeables pour les méthodes magnétique et RFID. Néanmoins, la détection magnétique s’avère moins chère avec un détecteur à ~ 1000€ et des aimants à 0,25 € contre ~3500 € pour le système RFID et des PIT tags à ~2,8€. Concernant les batteries, le RFID présente le désavantage de se décharger assez rapidement si la puissance de l’antenne est réglée à son niveau maximum (100%).

4.1.2 Radiotracking

Afin de mettre en évidence des événements de dispersion à longue distance, la meilleure méthode reste celle décrite par Hirsch *et al.* (2012), consistant à attacher des émetteurs radio aux graines via un fin câble en acier. C’est aussi cette méthode qui permet de suivre les graines sur une longue période et de pouvoir relever des déplacements successifs²², mais, cela nécessite un budget non négligeable, environ 180 euros par émetteur (Hirsch *et al.*, 2012). De surcroît, la gêne occasionnée pour *C. emini* et *F. pyrropus* serait probablement forte au vu de ce qui a été observé dans cette étude avec les fils. Néanmoins, Rosin & Poulsen, (2017) ont utilisé cette technique avec succès avec *C. emini*, ce qui suggère que, malgré une gêne très vraisemblable²³, il emporte les graines.

Pour pallier cette gêne, l’émetteur et son antenne enroulée pourraient être placés à l’intérieur de la graine similairement à Pons & Pausas (2007) mais la durée de vie de l’émetteur

²² Un aimant placé sur l’émetteur permet de l’éteindre, lorsque la graine est déplacée l’aimant tombe et l’émetteur est réactivé, le chercheur peut alors le retrouver et replacer l’aimant pour l’éteindre à nouveau

²³ Rosin & Poulsen, (2017) n’ont pas testé si la méthode diminuait l’enlèvement des graines par *C. emini*, ils se sont basés sur la non significativité des différences dans l’enlèvement de l’étude d’Hirsch *et al.* (2012)

diminuerait (3 mois). Aussi, le fait d'enrouler l'antenne diminuerait la détection du signal qui passerait alors d'une centaine à une dizaine de mètres (Pons & Pausas, 2007). De plus, une végétation épaisse et un enfouissement dans le sol diminueraient également la force du signal (communication personnelle de Philipp Wevers, société Biotrack). Nous pouvons donc supposer que la distance de détection deviendrait inférieure à 10 mètres. Par ailleurs, les graines doivent être d'assez grande dimension pour contenir l'émetteur et l'antenne.

4.1.3 Suivi individuel

Durant l'étude, un test de suivi individuel de chaque graine marquée avec les aimants et les PIT tags a été tentée en inscrivant un numéro sur chaque aimant et grâce à l'identifiant des PIT tags. Les graines marquées étaient placées devant des piquets colorés numérotés afin d'associer chaque enlèvement à un disperseur en particulier via les pièges photographiques. Cette tentative s'est soldée par un échec étant donné que les animaux n'ont enlevé aucune des graines sur les dispositifs présentant des piquets colorés. De surcroît le numéro sur ces piquets n'était plus lisible quand le piège photographique était en mode infrarouge.

Puisque des piquets numérotés ne peuvent être ajoutés sans effrayer les rongeurs, la meilleure solution reste de mettre peu de graines à la fois afin de mieux cerner quel animal prend quelle graine. Toutefois, Jansen (2003) a montré que placer moins de graines sur un dispositif sans « ambiance de fructification massive » donnait des distances de graines scatter-hoardées moins grandes.

4.1.4 Utilisation des pièges photographiques

Il aurait été utile d'utiliser une visionneuse pour vérifier que le piège était correctement placé. Cependant, comme les pièges étaient disposés au plus près des graines, une légère différence dans le positionnement se traduisait par une partie des graines hors champ. Par ailleurs, le mode vidéo ayant un champ de vision plus réduit, les photos montraient parfois une position correcte au contraire des vidéos. Puisque l'utilisation de la visionneuse nécessite de sortir la carte SD de l'appareil et donc de retirer celui-ci de l'arbre sur lequel il était placé (le boîtier de protection ne permettant pas d'atteindre la carte SD sans le retirer), le problème de positionnement n'aurait pas nécessairement été réglé. Placer deux caméras (une proche et une plus éloignée des graines) aurait pu limiter la perte de données en cas de mauvais positionnement, ainsi que mettre en évidence des comportements particuliers, comme ce fut le cas pour le scatter-hoarding sous des racines échasses de *Uapaca spp.* par *F. pyrropus*.

4.2 INFLUENCE DES COMPOSÉS VOLATILS DANS L'ATTRACTION DES RONGEURS

4.2.1 Analyse des molécules émises par *Staudtia kamerunensis* et *Pycnanthus angolensis*

Bien que les échantillons soient arrivés au laboratoire en très bon état de conservation, la présence d'éthanol et de 3-hydroxy-2-butanone révèle probablement un début de fermentation alcoolique pour la première et de fermentation lactique pour la seconde molécule (G. Lognay, communication personnelle, cf. Annexe 6).

Le profil en VOCs est très complexe pour les deux espèces et pour chaque échantillon. Pour cette étude, c'est probablement la globalité du profil en molécules volatiles qui joue un rôle dans les propriétés olfactives des diaspores considérées, a contrario de l'étude de Tosso *et al.* (2015), dans laquelle une molécule attractive était largement majoritaire (la 6-méthyl-5-hepten-2-one ou sulcatone). Toutefois, la littérature a été consultée afin de mettre en évidence, parmi les VOCs détectés, d'éventuels rôles olfactifs vis-à-vis des rongeurs.

VOCs « attractifs » de *Pycnanthus angolensis*

Tout d'abord, le 3-méthylbutanal fait partie d'une combinaison de sémiochimiques utilisés pour capturer des rats et des souris (Takács *et al.*, 2013).

En ce qui concerne la molécule 2-heptanone, les avis des auteurs divergent : Schwende *et al.* (1984) ont montré que cette molécule, présente dans l'urine de souris femelles, augmente en phase de pré-œstrus et d'œstrus. Ils ont donc émis l'hypothèse qu'elle jouait un rôle attractif. En 2009, Osada *et al.*, après des expériences d'attractivité de l'urine de rats mâles adultes et de rats prépubères, avancent que cette molécule, ainsi que deux autres, possèdent un rôle comportemental significatif pour l'attractivité des femelles. A contrario, Gutiérrez-García *et al.* (2007), ont révélé que la concentration de cette même molécule augmentait dans l'urine de rats stressés. Et ils ont conclu, après des tests d'exposition prolongée d'autres rats non stressés à cette molécule, qu'elle déclencherait un « désespoir » accru chez leurs congénères.

Ensuite, selon Heth *et al.* (1992) les mâles comme les femelles de rats taupes sont attirés par un des énantiomères de la carvone : la R-(-)-carvone.

Enfin, le stéréo-isomère (E)-beta-farnesene, présent dans un des deux échantillons, agirait comme un attractif pour les rats femelles et indique la dominance chez les mâles (Harvey *et al.*, 1989; Novotny *et al.*, 1990 cités par Zhang *et al.*, 2008).

*VOCs « attractifs » de *Pycnanthus angolensis* et *Staudtia kamerunensis**

Parmi les VOCs présents à la fois chez *P. angolensis* et *S. kamerunensis*, il a été démontré par Gawienowski *et al.* (1979) que l'hexanal, décelé dans tous les échantillons, sauf pour la graine arillée seule²⁴ de *S. kamerunensis*, attirait les rats mâles et femelles de façon significative.

Un autre de ces composés communs aux deux espèces végétales, le myrcène, a été présenté comme ayant un effet attractif sur le campagnol des champs (Hansen *et al.*, 2016; Schlötelburg *et al.*, 2018).

Enfin, dans le cas de certaines autres molécules communes à tous les échantillons, la littérature ne renseignait pas de rôle attractif pour les rongeurs mais pour d'autres taxons. Entre autres, l'acétate d'éthyle attire de façon significative un marsupial (*Bettongia gaimardi*) dans l'étude de Donaldson & Stoddart (1994). Tandis que le 2-méthyl-1-propanol attire les mycophages (Morath *et al.*, 2012).

VOCs « répulsifs »

Le limonene ferait partie des principaux composants de l'huile de bergamote responsables d'un effet répulsif sur la prise alimentaire de la souris grise (Jokić *et al.*, 2017). De nouveau, le limonene, avec le 1,8 cineole, l'alloocimene, le gamma-terpinene, et l'alpha-pinene seraient les principaux composants de l'huile d'eucalyptus repoussant le rat noir (Duke, 2004; Liu *et al.*, 2008 cités par Singla *et al.*, 2014). Dans l'étude de Snyder (1992), la présence de beta-pinene diminuait la prise alimentaire de beurre de cacahuète par des écureuils.

Suite à cet examen de la littérature, il apparaît que *P. angolensis*, et surtout son fruit ouvert, contient le plus grand nombre de molécules potentiellement attractives pour les rongeurs. Par ailleurs, cette espèce présente moins de molécules potentiellement répulsives comparativement à *S. kamerunensis*.

4.2.2 Influence de la sulcatone

A l'instar de Tosso *et al.* (2015), les résultats de cette étude appuient l'attractivité de la sulcatone. Toutefois, les différences observées sont principalement liées au site ilomba (ALÉATOIRE) (cf. Annexe 2) pour lequel nous n'avons pas pu associer une espèce de rongeur en particulier. Près d'un tiers des éléments retrouvés étaient scatter-hoardés (enfouissement léger – cf. Figure 20). Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que la sulcatone attire au moins un autre type de rongeur que les rats (de type souris ou écureuil) puisque nous n'avons pas retrouvé de comportement de scatter-hoarding dans un rayon proche sur les sites associés à *C. emini*.

²⁴L'analyse a été effectuée sur deux types d'échantillons pour les deux espèces végétales : fruit ouvert ou graine arillée seule

4.2.3 Espèces retrouvées dans les caches

Malgré une prépondérance de certaines familles, souvent liées à une seule espèce au sein de la famille, la diversité en espèces et familles des diaspores au sein des quatorze terriers est grande. En outre, les diaspores découvertes au sein des terriers de *C. emini* varient de par leur taille, le type de fruit et l'écologie de l'essence considérée.

En effet, les graines rencontrées présentent des dimensions variées, par exemple 1 cm de diamètre pour *Greenwayodendron suaveolens* (*Annonaceae*) (Jiofack Tafokou, 2011) contre des graines pouvant mesurer jusqu'à 4 X 7cm pour *Pentaclethra macrophylla* (*Fabaceae*) (White & Abernethy, 1996, p. 140). Elles proviennent de baies (e.g. *Chrysophyllum* spp. (*Sapotaceae*)), de drupes (e.g. *Panda oleosa* (*Pandaceae*)), de gousses ligneuses (e.g. *Pentaclethra macrophylla* (*Fabaceae*)) (Meunier et al., 2015, pp. 65, 190, 254), de syncarpes (e.g. *Myrianthus arboreus* (*Urticaceae*) (Tailfer, 1989, p. 543)) ou encore de pseudosyncarpes (e.g. *Anonidium mannii* (*Annonaceae*) (Tailfer, 1989, p. 567)).

De même, l'écologie des différentes espèces retrouvées est très diversifiée. Les quatre types de tempérament y sont rencontrés avec des espèces :

- pionnières (e.g. *Cleistopholis patens* (*Annonaceae*) (Dupuy, 1998, p. 33)) ;
- cryptopionnières (e.g. *Myrianthus arboreus* (*Urticaceae*) (Meunier et al., 2015, p. 234)) ;
- semi-héliophiles (e.g. *Parinari excelsa* (*Chrysobalanaceae*) (Meunier et al., 2015, p. 118)) ;
- tolérantes à l'ombrage (e.g. *Greenwayodendron suaveolens* (*Annonaceae*) (Vivien & Faure, 1985, p. 22)).

Les diaspores trouvées proviennent d'essences de grande taille tel que *Canarium schweinfurthii* (*Burseraceae*) pouvant atteindre 50 m de haut et 2 m de diamètre, mais aussi d'arbres de petites dimensions comme *Anonidium mannii* (*Annonaceae*) (10 à 30 m de haut) (Meunier et al., 2015, pp. 82, 104).

Par ailleurs certaines espèces rencontrées revêtent une grande importance pour les populations locales ou pour l'exploitation du bois d'œuvre. C'est le cas pour *Canarium schweinfurthii* (*Burseraceae*) dont certaines parties sont utilisées en pharmacopée et la résine est extraite pour réaliser des torches et de l'encens, ou encore *Nauclea diderrichii* (*Rubiaceae*) (Bilinga) qui est largement exporté pour son bois (Meunier et al., 2015, pp. 104, 264).

Enfin, parmi les espèces rencontrées, certaines sont aussi particulièrement importantes pour la survie d'espèces animales, comme c'est le cas pour les fruits des longhis blanc et rouge (*Chrysophyllum africanum* et *C. lacourtianum* (*Sapotaceae*)) et de l'onzabili (*Antrocaryon klaineum* (*Anacardiaceae*)) dont les fruits sont consommés par les primates en grande saison sèche (Lemmens et al., 2012, p. 88; Meunier et al., 2015, pp. 274–276), période de moindre abondance alimentaire.

4.2.1 Viabilité et possibilité de germination des diaspores retrouvées

Les terriers de *C. emini* contenaient plus d'un tiers de graines entières (35% ; cf. Tableau 19) et 6% de graines viables ou potentiellement viables. Cependant, à l'instar du constat fait par Rosin & Poulsen (2017), la viabilité importe peu si les graines sont enterrées trop profondément que pour s'établir.

4.2.2 Rythmes d'activité

En 1973, Majer avait observé l'activité quotidienne de *C. emini* en liberté au Ghana et noté que celle-ci s'étalait sur une plage horaire située entre 18h30 et 5h30 avec un arrêt probable entre 3 et 4h du matin (Figure 27). Les données récoltées via nos pièges photographiques n'ont pas révélé une cessation d'activité entre 3 et 4h. Au contraire, près d'un tiers des occurrences se situent dans cette plage (31%, voir Figure 22).

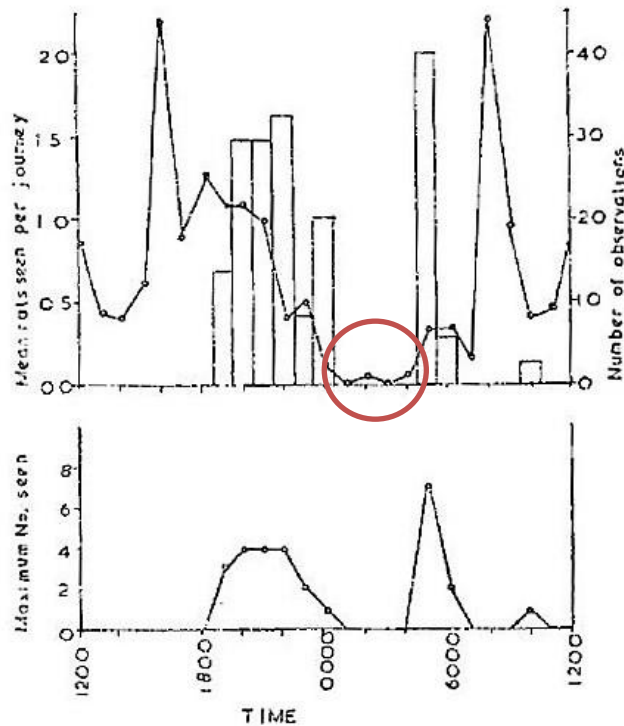


Figure 27 - Moyenne du nombre de rats observés par trajet (histogramme), nombre d'observations (tracé linéaire sur graphe supérieur) et maximum observé par plage horaire (tracé linéaire sur graphe inférieur) - tiré de Majer (1973)

Il a donc conclu à une période de repos en se basant à la fois sur l'allure du graphe obtenu, ainsi que sur d'autres observations, réalisées par Ewer en 1967 (cité par Majer, 1973), sur *C. gambianus* en captivité. Sur base de l'histogramme que nous avons obtenu (Figure 22), les données ont été scindées en deux groupes : celles avant 2h30 et celles après. Ce choix a été posé car plus de la moitié des observations se situaient dans la plage 3-5h et parce qu'Ewer (1967, cité par Majer, 1973) a montré que *C. gambianus* en captivité présentait un profil d'activité bimodal et une période de repos approximative de 1h-1h30 centrée aux alentours de 3h.

Nous avons obtenu deux heures moyennes d'activité : 23h08 et 4h02 pour *C. emini*. En comparant les deux graphes circulaires nous observons que 4h02 représente bien un pic d'activité, d'ailleurs cette heure présente un taux d'agrégation de 0,99998 tandis que 23h08 représente plutôt l'heure moyenne d'une plage horaire située entre 19h17 et 2h14 (taux d'agrégation de 0,9844 < taux d'agrégation global).

La plage horaire totale va de 19h17 à 4h51, ce qui constitue une plage plus large que celle observée par Ewer (1967, cité par Majer (1973)) ; 22h30-5h, avec *C. gambianus* en captivité. Par contre notre plage est fort comparable à celle de Majer (1973) ; 18h30-05h30 (avec une observation exceptionnelle à 10h00). Cette similarité pourrait étayer une des hypothèses émises par Majer selon laquelle la plage rencontrée était plus courte car l'accès à la nourriture est facilité en captivité et raccourcit ainsi le temps de recherche pour s'alimenter.

4.2.3 Distance de dispersion

A part un terrier dans lequel nous avons retrouvé un aimant seul à ~20m du dispositif de départ, les graines emportées par *C. emini* n'ont pas été retrouvées dans un rayon de 50m. Ceci pourrait s'expliquer par un enfouissement trop en profondeur des tags pour être détectables. De fait, les chambres de stockage du rat variaient entre 15 et 60 cm de profondeur dans cette étude, et Ronveaux (1991) a exploré des terriers avec une profondeur moyenne de chambre principale de 0,7m, pouvant aller jusqu'à 1,2m. Pour pallier le risque de ne pas détecter des tags dans les terriers de *C. emini*, nous avons fouillé les terriers dans la zone (cf. Tableau 18 - 5 terriers à une distance moyenne de 30,8±20,8m au DOUSSIE et 8 terriers en moyenne à 48,4±34,4m au LONGHI). Nous ne sommes pas à l'abri d'être passés à côté d'un terrier mais ces résultats laissent supposer que *C. emini* emporte les graines à une distance bien supérieure à 50m.

4.3 DISPERSION DES GRAINES PAR *F. PYRROPUS*

4.3.1 Espèces retrouvées dans les caches

Les essences découvertes au sein de caches probables de *F. pyrropus* contenaient également des espèces intéressantes, avec, par exemple, *Ricinodendron heudelotii* (*Euphorbiaceae*) qui est utilisé en alimentation et pour ses propriétés pharmacologiques (Meunier *et al.*, 2015, p. 130).

A la base, il n'était pas prévu de rechercher d'autres graines probablement scatter-hoardées par *F. pyrropus* dans les caches découvertes. Les graines ont été récoltées car elles se trouvaient enterrées tout près des graines marquées. Ces résultats apportent un aperçu très superficiel de la diversité des graines scatter-hoardées par *F. pyrropus*. Multiplier ce type d'étude permettrait de mieux appréhender cette diversité, sans toutefois pouvoir être certain que les graines enfouies avoisinant les graines marquées ne font pas partie de la banque de graines du sol. En effet, *Ricinodendron heudelotii* (*Euphorbiaceae*) est retrouvé dans les 4 premiers cm de cette banque de graines (Hall & Swaine, 1980).

4.3.2 Viabilité et possibilité de germination des diaspores retrouvées

De façon générale, plus de 10% des éléments marqués retrouvés étaient des graines entières enterrées à max. 10 cm (Annexe 7). Néanmoins, une profondeur de 10 cm paraît déjà importante. En effet, des essais sur des graines de *Purshia tridentata* (arbuste de la famille des *Rosaceae*, scatter-hoardé par un tamia) ont montré qu'à partir de 5 cm la probabilité de survie des graines décroît fortement et que la meilleure profondeur pour l'établissement se situe entre 1 et 3 cm avec un optimum à 2 cm de profondeur (Stephen B. Vander Wall, 1993).

Treize % des tags retrouvés associés à *F. pyrropus* présentaient une graine entière (Tableau 17). Et seulement 4% du total des éléments retrouvés étaient des graines entières enfouies légèrement (Figure 24). Ce qui paraît très peu, mais Jansen (2003) a montré que la rareté des graines défavorise l'établissement des graines cachées, ce qui pourrait expliquer ce faible taux de graines non consommées pour notre étude. Après environ une demi-année, 12% des graines marquées²⁵ par Tamura & Shibasaki (1996), emportées par des écureuils (*Sciurus lis*), n'avaient pas été consommées. Les caches de *F. pyrropus* présentaient plus 40% de graines intactes et 30% de graines potentiellement viables (Tableau 16).

4.3.3 Rythmes d'activité

Pour *F. pyrropus*, par manque d'informations dans la littérature, et au vu de la bimodalité de la distribution obtenue, il a été décidé de scinder les données sur base de la période d'inactivité ou de très faible activité observée sur l'histogramme de la Figure 23. Les données situées avant 10h30 étant la période 1 (N=27) et celles après 10h30 la période 2 (N=67).

²⁵ Émetteur radio de 4 g (matériel de collage inclus) - 50 MHz band, SR-43SW, Nakane Studio, 130 à 180 j de batterie

Ainsi nous avons obtenu des heures moyennes d'activité de 7h27 et 15h38 respectivement pour les périodes 1 et 2. La plage horaire totale de *F. pyrropus* s'étend entre 6h35 à 17h49 avec extrêmement peu d'observations entre 8 et 13h. Nous n'avons pas trouvé dans la littérature d'autres études ayant étudié de façon aussi précise le profil d'activité de *F. pyrropus*. Néanmoins, Thorington *et al.* (2012, p.222) expliquent que ces écureuils sont actifs dès l'aube et qu'ils retournent à leur nid en fin d'après-midi (entre 15h30 et 18h), ce qui concorde avec nos résultats, sauf que nous avons pu mettre en évidence un temps de repos probable entre deux périodes plus intenses d'activité.

4.3.4 Distances de dispersion

De façon générale, il faut souligner que le taux de détection des tags présents dans un rayon de 50m n'est pas connu et qu'il diminue très probablement lorsque le rayon de recherche augmente. Il est sans doute inférieur pour la méthode RFID que pour la méthode magnétique, puisque la largeur effective du transect de recherche est plus grande (0,5 à 1 m de chaque côté du détecteur) (Alverson & Diaz, 1989). Il varie aussi selon la profondeur d'enfouissement du tag et le sol (cf. Tableaux 20 à 23) et sans doute selon le chercheur et la végétation.

La plus grande distance à laquelle une des graines marquées et dispersées par *F. pyrropus* ait été retrouvée est de 37m. Cette distance paraît peu élevée, toutefois, il a été montré que des animaux « *scatter-hoarders* » déplaçaient fréquemment les graines cachées par la suite (jusqu'à 36 fois dans l'étude de Jansen *et al.* (2012)). Zhang *et al.* (2014) ont ainsi montré qu'un écureuil cachait d'abord les graines qu'il emporte à proximité pour ensuite les recacher plus loin plus tard à plusieurs reprises. Or nous ne laissons pas la graine retrouvée en place pour cette étude, en moyenne 9 jours s'écoulaient avant que le tag ne soit récupéré. De plus, comme discuté dans la section 4.1, les méthodes de marquage utilisées ne permettent pas retrouver des graines emportées à longue distance. Par ailleurs, le taux de détection des tags diminue probablement au fur et à mesure que le rayon de recherche augmente.

Les données sont donc probablement sous-estimées à cause de la durée de l'étude et des méthodes de marquage/recherche. Par exemple, pour *Dasyprocta punctata*, Smythe (1978) avait décrit qu'il scatter-hoardait des graines jusqu'à 50m de distance. Alors que des études plus récentes ont montré, grâce au radiotracking, que cette espèce pouvaient emmener ces graines scatter-hoardées jusqu'à 241 m (Hirsch *et al.*, 2012), 280 m (avec un voyage de ~750 m au total via des déplacements successifs) (Jansen *et al.*, 2012).

Par ailleurs, Jansen (2003) explique que le scatter-hoarding est favorisé durant des années de fructification pauvre, avec un nombre de graines cachées plus important et à une plus grande distance. Mais, à contrario, la chance d'établissement des graines cachées est plus importante dans les années à fructification de masse. Il a également montré que « l'ambiance » de fructification pauvre favorise un comportement de « *scatter-hoarding* » plus efficace (distance de dispersion). En effet, sans une « ambiance » de fructification riche réelle, le fait d'augmenter le nombre de graines²⁶ avait pour effet que les rongeurs emmenaient les graines plus loin. Autrement dit, les distances de dispersion des graines *scatter-hoardées* augmentent avec le nombre de graines placées, mais elles diminuent en cas d'un environnement abondant en graines (Jansen, 2003). Or nos dispositifs ne permettaient pas d'imiter une ambiance d'abondance de graines. Les graines auraient donc été emmenées plus loin si elles avaient été plus nombreuses.

Ces trois éléments (durée étude, méthodes de marquage et nombre de graines à disposition) laissent supposer que les graines sont sans doute emportées à des distances supérieures à une quarantaine de mètres. Dans leur étude de dispersion par les écureuils, à l'aide d'émetteurs radio collés sur les graines, Tamura & Shibasaki (1996) ont mis en évidence des distances de dispersion

²⁶ Jansen (2003) avait placé 49 graines plutôt que 25 pour tester cette hypothèse

comprises entre 1 et 62m (moyenne : $18,3 \pm 13,4$ m). D'ailleurs, dans une étude similaire avec la même espèce, Tamura *et al.* (1999) ont enregistré une dispersion jusqu'à 168m (moyenne : $14,5 \pm 16,4$ m).

Nous pourrions aussi être déçus de constater que les graines entières ont été emportées en moyenne moins loin (cf. Figure 24 et Tableau 17), mais, vu qu'un nombre très faible de graines ont été étudiées, il vaut mieux regarder les distances moyennes et maximum de façon générale.

4.4 COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ DES DIFFÉRENTES MÉTHODES EN FONCTION DU TYPE DE SOL

Nos résultats ont montré une influence du type de sol sur la détectabilité. Les plinthosols ont montré les meilleures « détectabilités » en termes de profondeur, tant pour le système RFID que pour la détection magnétique. Cependant, le grand nombre de faux positifs détectés sur une surface de 25m^2 rend l'usage d'un détecteur magnétique totalement inapproprié pour la détection de graines marquées. De plus, la détectabilité magnétique à 55 cm de profondeur n'a pas pu être appréhendée à cause d'une couche de graviers commençant à 30 cm.

Comparativement au ferralsol, l'acrisol semble être un sol plus approprié pour la détection des PIT tags et des aimants. Aussi, les données montrent une baisse de la détectabilité du PIT tag lorsqu'il y a présence d'un aimant à ses côtés.

Il faut garder à l'esprit que les données ont été récoltées en deux endroits éloignés d'une dizaine de mètres pour chaque type de sol. Elles ne sont donc qu'indicatives et permettent d'illustrer les différences de détection qui peuvent être rencontrées selon le type de sol considéré.

Les essais de profondeur de détection et l'expérience terrain ont confirmé que les aimants étaient plus adaptés pour une détection plus en profondeur comparativement aux PIT tags. Ainsi, une bonne détection jusqu'à maximum $\sim 35 - 40$ cm de profondeur est attendue sur des ferralsols avec des aimants et un appareil similaires à notre étude. Les maximums de détection enregistrés à 55 cm, tant pour les essais que sur le terrain, sont considérés comme plus compliqués car, à cette profondeur, le « signal » était faible avec le niveau de sensibilité 4 de l'appareil. Quant au niveau 5, il présente le grand inconvénient d'augmenter fortement le nombre de faux positifs et était donc peu ou pas utilisé sur le terrain.

5 CONCLUSION & PERSPECTIVES

5.1 MÉTHODE DE MARQUAGE

La littérature n'offre pas encore de méthode réellement idéale pour suivre la dispersion des deux espèces de cette étude. Néanmoins, Pons & Pausas (2007), avec leurs émetteurs radio²⁷, situés à l'intérieur des glands, ont tout de même su mettre en évidence des événements de dispersion à grande distance (jusqu'à ~550m). De fait, même avec un signal émettant à une dizaine de mètres, le temps de recherche est fortement diminué comparativement à la détection magnétique (Pons & Pausas, 2007). Nous conseillons donc de tester l'utilisation des émetteurs internes aux graines si ces dernières sont suffisamment grandes²⁸ et si l'étude ne dure que quelques mois. Dans le cas d'une étude considérant un temps de dispersion plus long, il est conseillé d'opter pour la méthode décrite par Hirsch *et al.* (2012), qui consiste à attacher un émetteur radio²⁹ par un fil en acier à la graine, tout en gardant à l'esprit que ce marquage gênera sans doute *F. pyrropus* et *C. emini* et qu'ils risquent de chercher à s'en débarrasser. Le coût important lié à la méthode de radiotracking sera largement compensé par des résultats plus intéressants et un investissement humain et temporel moins conséquent.

Pour conclure, résumons les grands points forts et faibles de chacune des méthodes utilisées dans le cadre de cette étude :

Aimant et détecteur magnétique

Points forts

- facile d'utilisation, intuitif ;
- recherche plus rapide qu'avec beaucoup d'autres méthodes ;
- efficace dans une végétation encombrée ;
- graines enfouies jusqu'à max ~35 - 40 cm ;
- fonctionne sur piles.

Points faibles

- recherche dans un rayon limité ;
- nécessite sol approprié (peu d'éléments ferreux et magnétiques – pas de déchets métalliques) ;
- déconseillé pour des animaux à poches jugales ;
- problème d'identification individuelle.

RFID

Points forts

- scatter-hoarding (profondeur jusqu'à max ~ 20 - 25 cm) ;
- études sur le long terme (pas de batterie interne) ;
- identifiant unique ;
- pas de faux positifs ;
- pas de contrainte de poches jugales ou de déplacement en hauteur ou dans une végétation encombrée.

Points faibles

- recherche dans un rayon limité ;
- batterie ;
- végétation encombrée.

²⁷ Model TW-4; Biotrack, Wareham, Dorset, UK; weight: 2.2 g; mean life span: 3 months

²⁸ Ils n'ont pu marquer que des glands dont les poids était > 5g

²⁹ Émetteur pouvant être éteint à l'aide d'un système aimant pour préserver sa batterie

Fils fluorescents

Points forts

- coût très faible ;
- utilisation de fils dans de nombreuses études de scatter-hoarding ;

Points faibles

- fluorescence peu visible
- gêne pour les rongeurs à poches jugales ou arboricoles ;
- recherche dans un rayon limité ;
- pas d'identifiant (mais possibilité de coder avec nœuds ou ajout d'un « flagging tape label »).

5.2 INFLUENCE DES MOLÉCULES VOLATILES

Chez les mammifères, l'odorat représente le vecteur de communication le plus ancien et le plus employé (Swaney & Keverne (2009) cité par Duval (2012)). Les rongeurs possèdent un système olfactif particulièrement développé et, selon Slotnick (2001), les rats ont la capacité de « penser avec leur nez ». Ainsi, un rat qui rencontre un autre rat dit « démonstrateur », c'est-à-dire ayant consommé un aliment odorant plus tôt, préférera manger cet aliment nouveau pour lui plutôt qu'un autre. Cette transmission de préférence alimentaire se ferait en grande partie via l'odeur de l'aliment ingéré et par la présence d'une molécule volatile dans l'haleine du rat « démonstrateur » (Bean *et al.*, 1988). Dans cette optique, l'aspect odoriférant des diaspores est très intéressant en termes de dispersion et de prédation par des rongeurs. Cependant, il faut garder à l'esprit que le facteur olfactif interagit avec de nombreux autres facteurs, par exemple la vue des couleurs pour les écureuils ou encore le bruit des fruits de palmier qui tombent pour l'agouti (Fenner, 2000, pp. 113,114). Les résultats présentés dans le cadre de cette étude montrent des profils en VOCs très complexes et pourraient découler sur une étude plus approfondie des molécules volatiles dégagées par les diaspores de *P. angolensis* et de *S. kamerunensis*. Il serait également intéressant de savoir jusqu'à quelle distance la molécule de sulcatone est attractive pour *C. emini*.

5.3 DISPERSION PAR LES RONGEURS

Cette étude a permis d'apporter la preuve d'un comportement de scatter-hoarding par *F. pyrropus* et d'appréhender de façon très superficielle la diversité des graines scatter-hoardées. Les distances de dispersion pour *F. pyrropus* sont sans doute bien supérieures à celles exposées dans ce travail. Nous n'avons pas pu mettre en avant un comportement de scatter-hoarder pour *C. emini*, ni suivre plusieurs événements de déplacement de graines mais nous avons souligné la diversité des graines potentiellement dispersées et nous supposons que les distances de dispersion sont largement supérieures à 50 mètres. A l'instar d'Evrard *et al.* (2017) nous suggérons d'effectuer des études d'interaction rongeur-diaspores via la méthode d'Hirsch *et al.* (2012) (émetteur radio externe à la graine).

Au vu des grands taux d'enlèvement sur les sites ILOMBA et DOUSSIE les rongeurs n'ont pas été saturés en graines comme ils auraient pu l'être avec un événement de fructification massive. Dès lors, il serait intéressant de mettre un bien plus grand nombre de graines pour imiter une fructification massive et voir éventuellement un délaissement plus important pour les dispositifs sans sulcatone.

Afin d'obtenir des profils d'activité basés sur un plus grand nombre de données et d'en tirer des conclusions plus fiables, il serait judicieux d'utiliser des données récoltées lors d'études utilisant des pièges photographiques, telles que des évaluations de la biodiversité faunistique. Ainsi, en

rassemblant des données prises à différentes périodes de l'année, sur plusieurs années et en différents endroits des aires de répartition de *C. emini* et de *F. pyrropus*, l'homogénéité ou les variations dans les profils d'activité pourraient également être appréhendés.

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ajayi, S.S.** (1977). Field observations on the African giant rat *Cricetomys gambianus* Waterhouse in southern Nigeria. *African Journal of Ecology* 15, 191–198.
- Aliyu, B., Adamu, H., Moltchanova, E., Forget, P.-M., and Chapman, H.** (2014). The Interplay of Habitat and Seed Type on Scatterhoarding Behavior in a Fragmented Afromontane Forest Landscape. *Biotropica* 46, 264–267.
- Alverson, W., and Diaz, A.** (1989). Measurement of the dispersal of large seeds and fruits with a magnetic locator. *Biotropica*.
- Aubréville, A.** (1961). Vol. 1. Sapotacées. In *Flore du Gabon* (pp. 128–138). Paris: Muséum d'Histoire Naturelle.
- Aubréville, A.** (1968). Vol. 15. Légumineuses. Césalpinioidées. In *Flore du Gabon* (pp. 111–118). Paris: Muséum d'Histoire Naturelle.
- Bean, N.J., Galef Jnr., B.G., and Mason, J.R.** (1988). The effect of carbon disulfide on food consumption by house mice. *Journal of Wildlife Management* 52, 502–507.
- Beaune, D., Bretagnolle, F., Bollache, L., Hohmann, G., Surbeck, M., and Fruth, B.** (2013). Seed dispersal strategies and the threat of defaunation in a Congo forest. *Biodiversity and Conservation* 22, 225–238.
- Botezatu, A., and Pickering, G.** (2010). *Ladybug (Coccinellidae) taint in wine. Managing Wine Quality: Oenology and Wine Quality*. Woodhead Publishing Limited.
- Brodin, A.** (2010). The history of scatter hoarding studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 869–881.
- Butynski, T.M., Kingdon, J., and Kalina, J. (Eds.)**. (2013). Volume I: Introductory Chapters and Afrotheria. In *Mammals of Africa (6 vols)* (p. 351). London United Kingdom: Bloomsbury Publishing.
- Cahalane, V.H.** (1942). Caching and recovery of food by the western fox squirrel. *Journal of Wildlife Management* 6, 338–352.
- Cain, M.L., Milligan, B.G., and Strand, A.E.** (2000). Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany* 87, 1217–1227.
- Carlo, T.A., Tewksbury, J.J., and Martínez del Río, C.** (2009). A new method to track seed dispersal and recruitment using N-15 isotope enrichment. *Ecology* 90, 3516–3525.
- Cassola, F.** (2016a). *Cricetomys emini* (errata version published in 2017). Retrieved from <http://www.iucnredlist.org/details/5521/0>
- Cassola, F.** (2016b). *Funisciurus pyrropus* (errata version published in 2017). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T8762A22270593.en>
- Cellule Aménagement PALLISCO & Nature +.** (2015). *Résumé des plans d'aménagement et des directives FSC pour les UFA 10-030, 10-031, 10-039, 10-041, 10-042 et 10-044 exploitées par la société PALLISCO et ses partenaires*. Retrieved from http://www.pallisco-cifm.com/download/Resume_PA_v01-1_Mai2008.pdf
- Cellule Aménagement PALLISCO & Nature +.** (2017). *Résumé du plan d'aménagement et des directives internes pour l'UFA 10 047b*.
- Cellule d'aménagement Pallisco & Nature+.** (2009). *Résumé du document d'évaluation de la présence de Forêts de Haute Valeur pour la Conservation (FHVC) dans les UFA exploitées par la société PALLISCO et ses partenaires*.
- Charles-Dominique, P.** (2001). Relationships between Seed Dispersal and Behavioural Ecology. In T.

- M. Bongers F., Charles-Dominique P., Forget P.M. (Ed.), *Nouragues: Dynamics and Plant-Animal Interactions in a Neotropical Rainforest. Monographiae Biologicae, vol 80.* (pp. 191–196). Springer, Dordrecht.
- Charles-Dominique, P.** (2003). Le rôle de la faune sur la régénération forestière naturelle. *Revue Forestière Française* 195–205.
- Charles-Dominique, P., Atramentowicz, M., Charles-Dominique, M., Gérard, H., Hladik, A., Hladik, C.M., and Prévost, M.-F.F.** (1981). Les mammifères frugivores arboricoles nocturnes d'une forêt Guyanaise: interrelations plantes-animaux. *La Terre et La Vie, Revue d'Ecologie* 35, 341–435.
- Côrtes, M.C., and Uriarte, M.** (2013). Integrating frugivory and animal movement: A review of the evidence and implications for scaling seed dispersal. *Biological Reviews* 88, 255–272.
- de Wasseige, C., de Marcken, P., Bayol, N., Hiol Hiol, F., Mayaux, P., Desclée, B., Nasi, R., Billand, A., Defourny, P., and Eba'a Atyi, R. (Eds.)**. (2012). *Les forêts du bassin du Congo - Etat des Forêts 2010.* Office des publications de l'Union Européenne. Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/48830>
- de Wasseige, C., Flynn, J., Louppe, D., Hiol Hiol, F., and Mayaux, P. (Eds.)**. (2014). *Les forêts du bassin du Congo – Etat des Forêts 2013.* Weyrich. Belgique. <https://doi.org/D/2014/8631/30>
- Delbeke, L.** (2016). Biodiversité comparée entre une aire protégée , une concession forestière certifiée et des forêts communautaires :
- Donaldson, R., and Stoddart, M.** (1994). Detection of hypogeous fungi by Tasmanian bettong (Bettongia gaimardi: Marsupialia; Macropodoidea). *Journal of Chemical Ecology* 20, 1201–1207.
- Donkpegan, A.S.L., Hardy, O.J., Lejeune, P., and Oumorou, M.** (2014). Un complexe d'espèces d' Afzelia des forêts africaines d' intérêt économique et écologique (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 18, 233–246.
- Duke, J.A.** (2004). Dr. Duke's phytochemical and ethnobotanical databases.
- Dupuy, B.** (1998). Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. *Serie FORAFRI, CIRAD* 387.
- Durrieu De Madron, L., and Daumerie, A.** (2004). Diamètre de fructification de quelques essences en forêt naturelle centrafricaine. *BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES* 281, 87–95.
- Duval, P.** (2012). *L'olfaction et son rôle dans le comportement social et reproducteur des rongeurs, phéromones et odortypes : étude bibliographique.* l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I.
- Emmons, L.H.** (1980). Ecology and resource partitioning among nine species of African rainforest squirrels. *Ecological Monographs* 50, 31–54.
- Evrard, Q.** (2015). *Ecologie de reproduction du doussié, Afzelia bipindensis Harms, en forêt dense humide tropicale gabonaise.* Mémoire : Université de Liège/Gembloux Agro-Bio Tech.
- Evrard, Q., Haurez, B., and Doucet, J.L.** (2017). Le rôle des rongeurs dans la dispersion des diaspores en milieu forestier (Synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment* 21, 66–79.
- Ewer, R.F.** (1967). The Behaviour of the African Giant Rat (*Cricetomys gambianus* Waterhouse). *Z. Tierpsychologie* 4, 6–79.
- F.A.O.** (2009). *Situation des forêts du monde 2009.* Rome.
- Fenner, M.** (2000). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. 2nd edn.* Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Forget, P.-M., and Milleron, T.** (1991). Evidence for secondary seed dispersal by rodents in Panama. *Oecologia* 87, 596–599.

- Forget, P.-M., and Wenny, D.** (2005). How to elucidate seed fate? A review of methods used to study seed removal and secondary seed dispersal. In P.-M. Forget, J. E. Lambert, P. E. Hulme, & S. B. Vander Wall (Eds.), *Seed fate: predation, dispersal and seedling establishment* (pp. 379–393). Wallingford: CABI.
- Fouilloy, L.** (1965). Vol. 10. Lauracées. Myristicacées. Monimiacées. In *Flore du Gabon* (pp. 83–101). Paris: Muséum d’Histoire Naturelle.
- Freycon, V.** (2017). *Caractérisation des sols de La Pallisco (Cameroun) Rapport de mission DynAffor, 9 au 29 octobre 2016.*
- Fuller, S.A., Henne, J.P., Seals, J., and Mudrak, V.A.** (2008). Performance of Commercially Available Passive Integrated Transponder (PIT) Tag Systems Used for Fish Identification and Interjurisdictional Fisheries Management. *North American Journal of Fisheries Management* 28, 386–393.
- Gawienowski, A.M., Keedy, D.A., and Stacewicz-Sapuntzakis, M.** (1979). Bioassay apparatus for rodent olfactory preferences under laboratory and field conditions. *Journal of Chemical Ecology* 5, 595–601.
- Gutiérrez-García, A.G., Contreras, C.M., Mendoza-López, M.R., García-Barradas, O., and Cruz-Sánchez, J.S.** (2007). Urine from stressed rats increases immobility in receptor rats forced to swim: Role of 2-heptanone. *Physiology and Behavior* 91, 166–172.
- Hall, J.B., and Swaine, M.D.** (1980). Seed Stocks in Ghanaian Forest Soils. *Biotropica* 12, 256.
- Hallwachs, W.** (1986). Agoutis *Dasyprocta punctata*: the inheritors of guapinol *Hymenaea courbaril* (Leguminosae). In R. Estrada & T. H. Fleming (Eds.), *Frugivores and Seed Dispersal* (pp. 119–135). The Hague: Dr W. Junk Publishers.
- Hansen, S.C., Stolter, C., and Jacob, J.** (2016). Effect of plant secondary metabolites on feeding behavior of microtine and arvicoline rodent species. *Journal of Pest Science* 89, 955–963.
- Happold, M., Happold, D.C.D., and (eds.) (Eds.).** (2013). Rodents, Hares and Rabbits. In *Mammals of Africa (6 vols)* (Vol. Volume III, p. 784). London: Bloomsbury Publishing.
- Harvey, S., Jemiolo, B., and Novotny, M.** (1989). Pattern of volatile compounds in dominant and subordinate male mouse urine. *Journal of Chemical Ecology* 15, 2061–2072.
- Haurez, B., Dainou, K., Tagg, N., Petre, C.A., and Doucet, J.L.** (2015). The role of great apes in seed dispersal of the tropical forest tree species *Dacryodes normandii* (Burseraceae) in Gabon. *Journal of Tropical Ecology* 31, 395–402.
- Heth, G., Nevo, E., Ikan, R., Weinstein, V., Ravid, U., and Duncan, H.** (1992). Differential olfactory perception of enantiomeric compounds by blind subterranean mole rats (*Spalax ehrenbergi*). *Experientia* 48, 897–902.
- Hirsch, B.T., Kays, R., and Jansen, P.A.** (2012). A telemetric thread tag for tracking seed dispersal by scatter-hoarding rodents. *Plant Ecology* 213, 933–943.
- Howe, H.F., and Smallwood, J.** (1982). Ecology of Seed Dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*.
- Hulme, P.E., and Kollmann, J.** (2005). Seed predator guilds, spatial variation in post-dispersal seed predation and potential effects on plant demography: a temperate perspective. In P.-M. Forget, J. E. Lambert, P. E. Hulme, & S. B. Vander Wall (Eds.), *Seed fate: predation, dispersal and seedling establishment* (pp. 9–30). Wallingford: CABI.
- Iida, S.** (1996). Quantitative analysis of acorn transportation by rodents using magnetic locator. *Vegetatio* 124, 39–43.
- IUSS Working Group WRB.** (2015). *Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014, Mise*

à jour 2015. *Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106.* Rome.

- Jansen, P.A.** (2003). *Scatterhoarding and tree regeneration : Ecology of nut dispersal in a Neotropical rainforest.* Wageningen Universiteit.
- Jansen, P.A., Elschot, K., Verkerk, P.J., and Wright, S.J.** (2010). Seed predation and defleshing in the agouti-dispersed palm *Astrocaryum standleyanum*. *Journal of Tropical Ecology* 26, 473–480.
- Jansen, P.A., and Forget, P.-M.** (2001). Scatterhoarding Rodents and Tree Regeneration. In T. M. Bongers F., Charles-Dominique P., Forget PM. (Ed.), *Nouragues: Dynamics and Plant-Animal Interactions in a Neotropical Rainforest. Monographiae Biologicae, vol 80.* (pp. 275–288). Springer, Dordrecht.
- Jansen, P.A., Hirsch, B.T., Emsens, W., Zamora-Gutierrez, V., Wikelski, M., and Kays, R.** (2012). Thieving rodents as substitute dispersers of megafaunal seeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109, 12610–5.
- Janzen, D.** (1986). Seeds as products. *Oikos* 46, 1–2.
- Janzen, D.H.** (1970). Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist* 104, 501–528.
- Janzen, D.H.** (1971). Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2, 465–492.
- Jiofack Tafokou, R.B.** (2011). Greenwayodendron suaveolens (Engl. & Diels) Verdc. In A. A. Lemmens, R.H.M.J., Louppe, D. & Oteng-Amoako (Ed.). Wageningen, Netherlands: PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l’Afrique tropicale).
- Jokić, G., Blažić, T., Đurović-Pejčev, R., Đorđević, T., Đedović, S., and Vukša, M.** (2017). A method for reducing environmental pollution by using essential oils in rodent pest management program. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 18257–18262.
- Jordano, P., García, C., Godoy, J.A., and García-Castaño, J.L.** (2007). Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 104, 3278–3282.
- Jorge, M.L.S.P., and Howe, H.F.** (2009). Can forest fragmentation disrupt a conditional mutualism? A case from central Amazon. *Oecologia* 161, 709–718.
- Julliot, C., Simmen, B., and Zhang, S.** (2001). Frugivory and Seed Dispersal by Three Neotropical Primates: Impact on Plant Regeneration. In T. M. Bongers F., Charles-Dominique P., Forget PM. (Ed.), *Nouragues: Dynamics and Plant-Animal Interactions in a Neotropical Rainforest. Monographiae Biologicae, vol 80.* (pp. 197–206). Springer, Dordrecht.
- Kenne Kemene, T., Lognay, G., and Fauconnier, M.-L.** (2018). Probiotics as a Sources of Aromas in Fonctionnal Food: Selected Examples and Analytical Methodology (chap.5). In H. Razafindralambo (Ed.), *Trends in Probiotic Applications.* Studium Press LLC.
- Kingdon, J.** (1974). An Atlas of Evolution in Africa Vol. II, Part B (Hares and Rodents). In *East African Mammals* (pp. 546–554). London & New York: Academic Press.
- Kingdon, J.** (1984). An Atlas of Evolution in Africa, Volume 2, Part B: Hares and Rodents. In *East African Mammals* (p. 371). University of Chicago Press.
- Laporte, N.T., Stabach, J.A., Grosch, R., Lin, T.S., and Goetz, S.J.** (2007). Expansion of Industrial Logging in Central Africa. *Science* 316(5830), 1451.
- Lawrence, W.H., and Rediske, J.** (1959). Radio-tracer technique for determining the fate of broadcast Douglas-fir seed. *Proceedings of the American Society of Foresters* 99–101.

- Lemen, C.A., and Freeman, P.W.** (1985). Tracking Mammals with Fluorescent Pigments: A New Technique. *Journal of Mammalogy* 66, 134–136.
- Lemmens, R.H.M.J., Louppe, D., and Oteng-Amoako, A.A. (Eds.)**. (2012). Bois d'oeuvre 2. In *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7(2)* (p. 891). Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas/CTA, Wageningen, Pays-Bas.
- Liu, X., Chen, Q., Wang, Z., Xie, L., and Xu, Z.** (2008). Allelopathic effects of essential oil from *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* on pathogenic fungi and pest insects. *Frontiers of Forestry in China* 3, 232–236.
- Longland, W.S., and Clements, C.** (1995). Use of Fluorescent Pigments in Studies of Seed Caching by Rodents. *Journal of Mammalogy* 76, 1260–1266.
- Majer, J.D.** (1973). Observations on the activity pattern of the forest giant rat *Cricetomys emini* (Mammalia: Cricetidae). *Mammalia* 3, 390–393.
- Malcolm, J.R., and Ray, J.C.** (2000). Influence of timber extraction on central African small-mammal communities, forest structure and tree diversity. *Conservation Biology* 14, 1623–1638.
- Malekani, M.** (1987). Techniques de capture et observations écoéthologiques sur le rat de Gambie, *Cricetomys*, dans la forêt équatoriale du Zaïre. *Tropicultura* Tropicultu, 160–164(5).
- Mathurin, T., and Nasi, R.** (1999). *Produits Forestiers Autres que le Bois d'oeuvre (PFAB) : place dans l'aménagement durable des forêts denses humides d'Afrique Centrale. Serie FORAFRI 18.*
- Merceron, N.R., De Langhe, A., Dubois, H., Garin, O., Gerarts, F., Jacquemin, F., Balligand, B., Otjacques, M., Sabbe, T., Servranckx, M., Wautelet, S., Kremer, A., Porté, A.J., and Monty, A.** (2017). Removal of acorns of the alien oak *Quercus rubra* on the ground by scatter-hoarding animals in Belgian forests. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment* 21, 127–130.
- Meunier, Q., Moumougou, C., and Doucet, J.-L.** (2015). *Les Arbres Utiles du Gabon.* (Les Presses Agronomiques de Gembloux, Ed.).
- Miyaki, M., and Kikuzawa, K.** (1988). Dispersal of *Quercus mongolica* acorns in a broadleaved deciduous forest 2. Scatterhoarding by mice. *Forest Ecology and Management* 25, 9–16.
- Monadjem, A., Taylor, P.J., Denys, C., and Cotterill, F.P.D.** (2015). *Rodents of Sub-saharan Africa: A Biogeographic and Taxonomic Synthesis.* De Gruyter.
- Morath, S.U., Hung, R., and Bennett, J.W.** (2012). Fungal volatile organic compounds: A review with emphasis on their biotechnological potential. *Fungal Biology Reviews* 26, 73–83.
- Morris, B.** (1963). Notes on the Giant Rat (*Cricetomys gambianus*) in Nyasaland. *African Wildlife* 17, 103–107.
- Muller-Landau, H.C., Wright, S.J., Calderón, O., Condit, R., and Hubbell, S.P.** (2008). Interspecific variation in primary seed dispersal in a tropical forest. *Journal of Ecology* 96, 653–667.
- Nguenang, G.M.** (2010). *Secondarisation et dynamique cicatricielle de la forêt du Dja (Est Cameroun): Application à l'aménagement des formations secondarisées.*
- Nielsen, B.L., Jérôme, N., Saint-Albin, A., Rampin, O., and Maurin, Y.** (2013). Behavioural response of sexually naïve and experienced male rats to the smell of 6-methyl-5-hepten-2-one and female rat faeces. *Physiology & Behavior* 120, 150–155.
- Novotny, M., Harvey, S., and Jemiolo, B.** (1990). Chemistry of male dominance in the house mouse, *Mus domesticus*. *Experientia* 46, 109–113.
- Nyiramana, A.** (2012). *Production De Fruits, Dissemination Et Devenir Des Graines De Carapa Grandiflora Sprague (Meliaceae) Dans Le Parc National De Nyungwe, Rwanda.* École doctorale Sciences de la nature et de l'homme - ED 227.
- Osada, K., Kashiwayanagi, M., and Izumi, H.** (2009). Profiles of volatiles in male rat urine: The effect

- of puberty on the female attraction. *Chemical Senses* 34, 713–721.
- Osman, K.T.** (2013). *Forest soils: Properties and management. Forest Soils: Properties and Management* (Vol. 9783319025).
- PALLISCO.** (2007). *Fiche Ilomba Version 01*. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiC3fqBnZDcAhVFZVAKHRAfBi8QFghUMAs&url=http%3A%2F%2Fwww.pallisco-cifm.com%2Fdownload%2FFiche_Ilomba_v1.pdf&usg=AOvVaw30R3x4Belz22_GRUMaNdb1
- Pirlot, P.L.** (1957). Rongeurs nuisibles aux cultures des environs du lac Kiva (Congo belge). *Bulletin Agricole Du Congo Belge* 48, 703–730.
- Pons, J., and Pausas, J.G.** (2007). Acorn dispersal estimated by radio-tracking. *Oecologia* 153, 903–911.
- Rahm, V., and Christiaensen, A.** (1963). Les mammifères de la région occidentale du lac Kivu. *An. Mus Roy. Afr. Centr., Ser. 8, Science Zool.* 118, 78,79.
- Rodríguez, A., Alquézar, B., and Peña, L.** (2013). Fruit aromas in mature fleshy fruits as signals of readiness for predation and seed dispersal. *New Phytologist* 197, 36–48.
- Ronveaux, F.** (1991). *Caractérisation de l'habitat et du terrier des cricétomes (Cricetomys gambianus et Cricetomys emini) au Bénin*. Université de Liège.
- Rosin, C., and Poulsen, J.R.** (2017). Telemetric tracking of scatterhoarding and seed fate in a Central African forest. *Biotropica* 49, 170–176.
- Schlötelburg, A., Jakob, G., Bellingrath-Kimura, S., and Jacob, J.** (2018). Natural bait additives improve trapping success of common voles, *Microtus arvalis*. *Applied Animal Behaviour Science* 208, 75–81.
- Schwarz, K.J., Stübner, R., and Methner, F.J.** (2012). Formation of styrene dependent on fermentation management during wheat beer production. *Food Chemistry* 134, 2121–2125.
- Schwende, F.J., Wiesler, D., and Novotny, M.** (1984). Volatile compounds associated with estrus in mouse urine: Potential pheromones. *Experientia* 40, 213–215.
- Singla, N., Thind, R.K., and Mahal, A.K.** (2014). Potential of eucalyptus oil as repellent against house Rat, *Rattus rattus*. *The Scientific World Journal* 2014.
- Siry, J.P., Cubbage, F.W., and Ahmed, M.R.** (2005). Sustainable forest management: Global trends and opportunities. *Forest Policy and Economics* 7, 551–561.
- Slotnick, B.** (2001). Animal cognition and the rat olfactory system. *Trends in Cognitive Sciences* 5, 216–222.
- Smythe, N.** (1978). The natural history of the Central American agouti (*Dasyprocta punctata*). *Smithsonian Contributions to Zoology* 1–52.
- Snyder, M.A.** (1992). Selective Herbivory by Abert ' s Squirrel Mediated by Chemical Variability in Ponderosa Pine Author (s): Marc A . Snyder Published by: Wiley Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1940025> REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this a. *Ecology* 73, 1730–1741.
- Sork, V.L.** (1984). Examination of Seed Dispersal and Survival in Red Oak , *Quercus Rubra* (Fagaceae), Using Metal- Tagged Acorns. *Ecological Society of America* 65, 1020–1022.
- Stoner, K.E., and Henry, M.** (2011). Seed Dispersal and Frugivory in Tropical Ecosystems. *International Commission on Tropical Biology and Natural Resources* 360, 163–166.
- Stuart, C., and Stuart, M.** (2015). *Stuarts' Field Guide to Mammals of Southern Africa: Including Angola, Zambia & Malawi*. (Struik Nature, Ed.).

- Suselbeek, L., Jansen, P.A., Prins, H.H.T., and Steele, M.A.** (2013). Tracking rodent-dispersed large seeds with Passive Integrated Transponder (PIT) tags. *Methods in Ecology and Evolution* 4, 513–519.
- Swaney, W.T., and Keverne, E.B.** (2009). The evolution of pheromonal communication. *Behavioural Brain Research* 200, 239–247.
- Tailfer, Y.** (1989). *La forêt dense d’Afrique centrale : identification pratique des principaux arbres. Tome 2, Approche botanique et systématique.* (Paris : ACCT Wageningen : CTA, Ed.).
- Takács, S.J., Gries, R.M., and Gries, G.G.** (2013). *Composition and methods for attracting and stimulating feeding by mice and rats. International Publication Number WO 2013/003946 A1.*
- Tamura, N., Hashimoto, Y., and Hayashi, F.** (1999). Optimal distances for squirrels to transport and hoard walnuts. *Animal Behaviour* 58, 635–642.
- Tamura, N., and Shibasaki, E.** (1996). Fate of walnut seeds, *Juglans airanthifolia*, hoarded by Japanese squirrels, *Sciurus lis*. *Journal of Forest Research* 1, 219–222.
- Thorington, R.W., Koprowski, J.L., Steele, M.A., and Whatton, J.F.** (2012). *Squirrels of the World.* Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Tosso, F., Cherchye, G., Hardy, O.J., Daïnou, K., Lognay, G., Tagg, N., Haurez, B., Souza, A., Heuskin, S., and Doucet, J.L.** (2017). Characterization of animal communities involved in seed dispersal and predation of *Guibourtia tessmannii* (Harms) J.Léonard, a species newly listed on Appendix II of CITES. *African Journal of Ecology* 1–9.
- Tosso, F., Cherchye, G., Lognay, G., and Doucet, J.** (2015). *Guibourtia tessmannii* : Quelle influence sur le potentiel de régénération de l’espèce ?
- Trolliet, F., Forget, P.-M., Huynen, M.C., and Hambuckers, A.** (2017). Forest cover, hunting pressure, and fruit availability influence seed dispersal in a forest-savanna mosaic in the Congo Basin. *Biotropica* 49, 337–345.
- Trolliet, F., Huynen, M.-C., Vermeulen, C., and Hambuckers, A.** (2014). Use of Camera Traps for Wildlife Studies. A Review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 18, 466–454.
- Vander Wall, S.B.** (1993). A model of caching depth: implications for scatter hoarders and plant dispersal. *The American Naturalist* 141, 217–232.
- Vander Wall, S.B.** (2003). Effects of seed size of wind-dispersed pines (*Pinus*) on secondary seed dispersal and the caching behavior of rodents. *Oikos* 100, 25–34.
- Vivien, J., and Faure, J.J.** (1985). *Arbres des forêts denses d’Afrique centrale.* (Paris : Ministère des Relations Extérieures. Coopération et Développement ; Paris : ACCT, Ed.).
- Vivien, J., and Faure, J.J.** (2011). *Arbres des forêts denses d’Afrique centrale.* (NGUILA KEROU, Ed.).
- Vleminckx, J., Doucet, J.L., Morin-Rivat, J., Biwolé, A.B., Bauman, D., Hardy, O.J., Fayolle, A., Gillet, J.F., Daïnou, K., Gorel, A., and Drouet, T.** (2017). The influence of spatially structured soil properties on tree community assemblages at a landscape scale in the tropical forests of southern Cameroon. *Journal of Ecology* 105, 354–366.
- Wall, S.B. vander, Forget, P.-M., Lambert, J.E., and Hulme, P.E.** (2005). Seed fate pathways: filling the gap between parent and offspring. In P.-M. Forget, J. E. Lambert, P. E. Hulme, & S. B. Vander Wall (Eds.), *Seed fate: predation, dispersal and seedling establishment* (pp. 1–8). Wallingford: CABI.
- Wenny, D.G.** (2001). Advantages of seed dispersal : A re-evaluation of directed dispersal 51–74.
- White, L., and Abernethy, K.** (1996). *Guide de la végétation de la Réserve de la Lopé* (ECOFAC GAB). Libreville, Gabon.
- Willson, M., and Traveset, A.** (2000). The ecology of seed dispersal. In M. Fenner (Ed.), *Seeds: the*

ecology of regeneration in plant communities. (Vol. 13, pp. 85–110). Wallingford, UK: CAB International.

Yasuda, M., Nakagoshi, N., and Takahashi, F. (1991). Examination of the spool-and-line method as a quantitative technique to investigate seed dispersal by rodents. *Jpn. J. Ecol.* 41, 257–262.

Zhang, H., Steele, M.A., Zhang, Z., Wang, W., and Wang, Y. (2014). Rapid sequestration and recaching by a scatter-hoarding rodent (*Sciurotamias davidianus*). *Journal of Mammalogy* 95, 480–490.

Zhang, J.-X., Sun, L., Bruce, K.E., and Novotny, M. V. (2008). Chronic exposure of cat odor enhances aggression, urinary attractiveness and sex pheromones of mice. *Journal of Ethology* 26, 279–286.

ANNEXE 1. FICHE « RECHERCHE » DE GRAINES MARQUÉES

Dispositif :		Date de recherche :		Chercheur(s) :								
Type de tag ?	État graine ? e=entière r=rongée s=tag seul	Jalon le + proche ? s = sulcatone t = sur le témoin	Distance au jalon (m) ou encore dispositif =d ?	Orientat ion # jalon	Enterré ? Si oui combien de cm ? Dans un arbre = a ?	Si PIT tag 4 derniers chiffres/ lettres identifia nt	Si fil : rogné ? Trouvé grâce UV ? oui=o non=n noeud ?	Pente	Trouvé grâce à un autre tag ? Si oui grâce à a = aimant P = PIT tag f = fil	Autres types de graines présentes ? Si oui mettre dans sachet + noter n° sur le sachet	Au pied d'un arbre ? Quelle essence ? Diamètre ?	Dans terrier ? Si oui de quoi ?
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non
a/P/f	e/r/s	s/t	.....m d		non oui :cm a : oui/non	B.....	rog: o/n UV: o/n n: 0/1/2	non oui < 30 oui > 30	non oui : a / P / f	non oui : n°	piéd arbre ? diam :cm r : oui/non	terr ? oui/non

Total PIT tags :

Total aimants :

Total fils :

ANNEXE 2. TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ENLÈVEMENT DES GRAINES SELON LE SITE, LA MÉTHODE, LE DISPOSITIF ET L'ESSAI

Tableau récapitulatif de l'enlèvement des graines selon le site, la méthode, le dispositif et l'essai

Site	Essai	D1	D2	Méth.	Dispos.	Enl.	Pl.	%	Commentaire	
ILOMBA	1	8/4	12/4	Aimant	Témoin	10	10	100%		
					Sulcatone	10	10	100%		
				Fil	Témoin	10	10	100%	1 fil seul <i>in situ</i> ³⁰	
					Sulcatone	10	10	100%		
				PIT	Témoin	10	10	100%		
					Sulcatone	10	10	100%		
				Non marqué	Témoin	10	10	100%		
	Sulcatone	10	10		100%					
	2	11/4	12/4	Aimant	Témoin	10	Pas de sens puisque retrait/déplacement des graines restantes après 1 jour			
					Sulcatone	4				
				Fil	Témoin	4				
					Sulcatone	4				
				PIT	Témoin	9				
					Sulcatone	8				
NIOVÉ ³¹	/	11/4	18/4	Aimant	Rien	12	16	75%		
					Fil		7	14	50%	3 fils seuls <i>in situ</i>
						PIT		12	16	75%
					Non marqué		16	16	100%	
ALÉATOIRE (graines Ilomba)	/	12/4	19/4	Aimant	Témoin	7	10	70%		
					Sulcatone	10	10	100%		
				Fil	Témoin	0	10	0%		
					Sulcatone	9	10	90%		
				PIT	Témoin	0	10	0%		
					Sulcatone	10	10	100%		
				Non marqué	Témoin	10	10	100%		
					Sulcatone	10	10	100%		
DOUSSIÉ	1	21/4	28/4	Aimant	Témoin	10	10	100%		
					Sulcatone	10	10	100%		
				Fil	Témoin	10	10	100%	1 fil seul <i>in situ</i>	
					Sulcatone	10	10	100%	6 fils seuls <i>in situ</i>	
				PIT	Témoin	10	10	100%		
					Sulcatone	10	10	100%		
	2 (avec pics initialement)	28/4	7/5	Aimant	Témoin	9	9	100%	1 aimant retiré (attaqué par des fourmis)	
					Sulcatone	10	10	100%	1 aimant seul <i>in situ</i>	
				PIT	Témoin	10	10	100%		
					Sulcatone	10	10	100%		
LONGHI	/	27/4	8/5	Aimant	SANS PICS	15	15	100%		
					AVEC PICS (retrait)	2	15	13%	1 pic oublié	

³⁰ Lorsque le rongeur a emporté la graine en laissant sur place le marquage (aimant/fil/PIT tag), la graine a été comptabilisée comme emportée, le nombre de marquages dans ce cas est spécifié dans la colonne « Commentaire »

³¹ Pas de dispositif sulcatone - oubli d'une partie du matériel

				PIT	SANS PICS	15	15	100%	
					AVEC PICS (retrait)	3	15	20%	

Avec :

- Site : Site de dépôt des graines
- D1 : Date de mise en place des graines
- D2 : Date de début des recherches ou fin de l'Essai 1 si deux essais
- Méth. : Méthode de marquage des graines
- Dispos. : Modalité du dispositif : sulcatone VS sans sulcatone (Témoin) OU pics VS sans pics (*n-b* : tous les pics colorés ont été enlevés le 2 mai suite constat délaissement par les rongeurs)
- Enl. : Nombre de graines enlevés
- Pl. : Nombre de graines qui avaient été mises en place
- % : Proportion d'enlèvement (Nombre de graines enlevées/Nombre de graines mises en place)

Remarque : Le 2 mai, après visite des sites LONGHI et DOUSSIÉ, il a été constaté que l'entièreté des graines de Longhi sur les dispositifs sans pics avaient été emportées tandis qu'aucune n'était partie sur les dispositifs avec pics. Une visite du site DOUSSIÉ a donc été effectuée pour constater également que toutes les graines de Doussié avaient été délaissées (des pics étaient présents sur le dispositif Témoin comme sur le dispositif Sulcatone de l'Essai 2 DOUSSIÉ). Tous les pics ont donc été retirés le 2 mai et les graines laissées en place.

ANNEXE 3. TABLEAU DES POURCENTAGES DE GRAINES ENLEVÉES OU NON PAR LES ANIMAUX EN FONCTION DE LA MÉTHODE ET PAR SITE – COMPARAISON AVEC GRAINES NON MARQUÉES

Pourcentage de graines enlevées ou non par les animaux en fonction de la méthode et par site – Comparaison avec graines non marquées

	Méthode	Non marqué		Aimant		Fil		PIT		Total	
Site	Enlèvement	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
ILOMBA (Essai 1)	Enlevé	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	80	100%
	Non	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	Total graines	20		20		20		20		80	
NIOVE	Enlevé	16	100%	12	75%	7	50%	12	75%	47	76%
	Non	0	0%	4	25%	7	50%	4	25%	15	24%
	Total graines	16		16		14		16		62	
ALEAT. (ilomba)	Enlevé	20	100%	17	85%	9	45%	10	50%	56	70%
	Non	0	0%	3	15%	11	55%	10	50%	24	30%
	Total graines	20		20		20		20		80	
Total des dispositifs	Enlevé	56	100%	49	88%	36	67%	42	75%	183	82%
	Non	0	0%	7	12%	18	33%	14	25%	39	18%
	Total graines	56		56		54		56		222	

ANNEXE 4. NOMBRE DE DÉTECTIONS DES TAXONS IDENTIFIÉS VIA LES PIÈGES PHOTOGRAPHIQUES

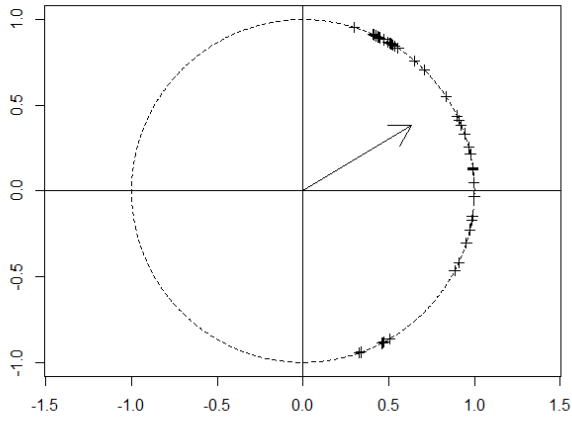
Espèce végétale (SITE) et taxon animal considérés	Nombre de fois où l'animal a été détecté
ilomba (ALÉATOIRE) – 7 j	69
<i>C. emini</i>	9
<i>Muridae</i>	55
Oiseau	4
<i>Sciuridae</i>	1
doussié (DOUSSIÉ) – 16 j	51
<i>Atherurus africanus</i>	1
<i>C. emini</i>	29
<i>Muridae</i>	11
Oiseau	10
ilomba (ILOMBA) – 5 j	105
<i>C. emini</i>	2
<i>F. pyrropus</i>	91
<i>Muridae</i>	9
Oiseau	3
longhi (LONGHI) – 21 j	39
<i>C. emini</i>	20
<i>Sciuridae</i>	2
<i>F. pyrropus</i>	3
<i>Muridae</i>	3
Oiseau	9
<i>Manidae</i>	2
niové (NIOVÉ) – 2 j	5
<i>C. emini</i>	1
<i>F. pyrropus</i>	1
<i>Muridae</i>	3
Total	269

Remarque : Les oiseaux, les *Manidae* (pangolin) et *Atherurus africanus* ne semblaient pas du tout s'intéresser aux graines.

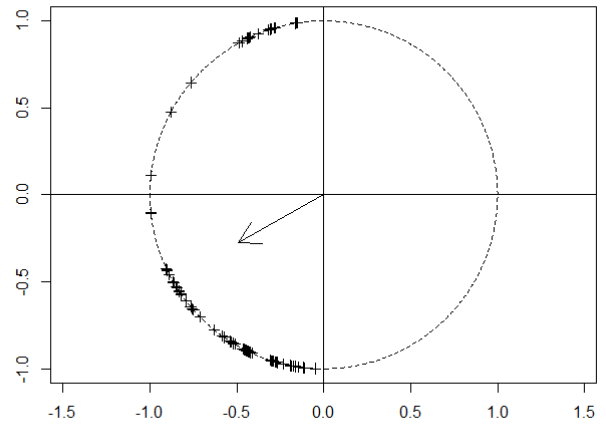
ANNEXE 5. GRAPHES CIRCULAIRES DES ACTIVITÉS DE *C. EMINI* ET *F. PYRROPUS*

DONNÉES NON SCINDÉES

Graphe circulaire de l'activité de *C. emini*

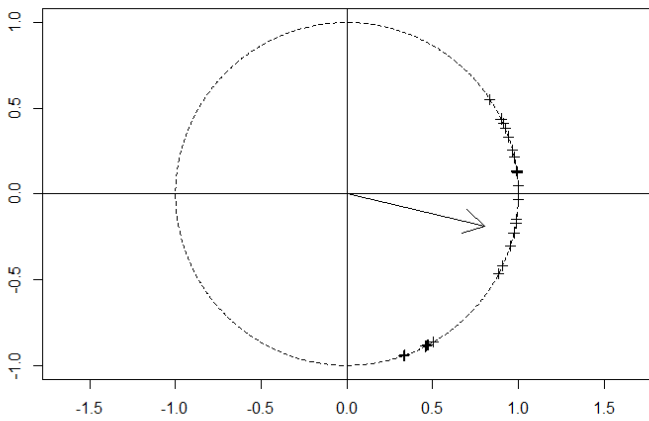


Graphe circulaire de l'activité de *F. pyrropus*

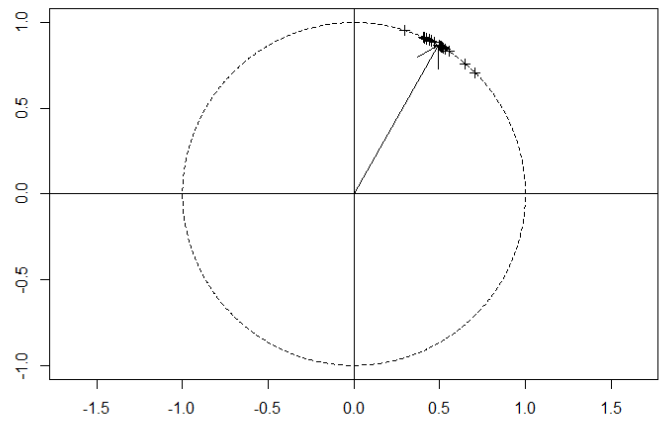


DONNÉES SCINDÉES

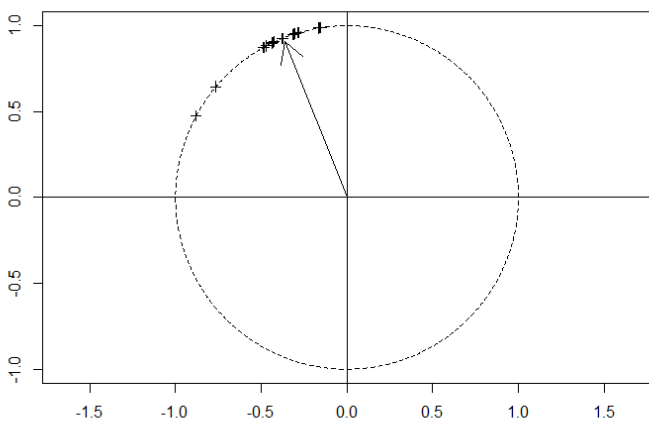
Graphe circulaire de l'activité de *C. emini* période 1



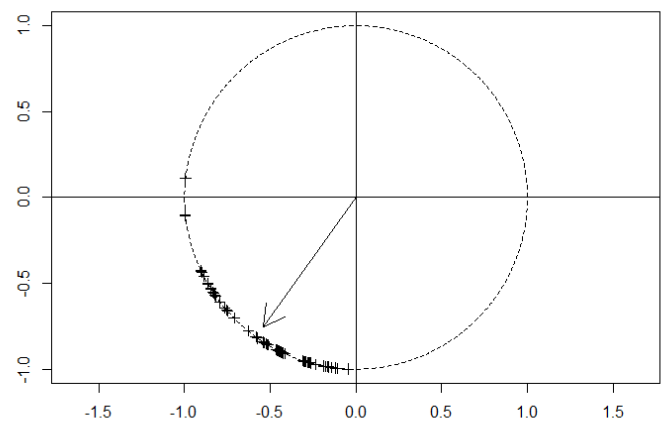
Graphe circulaire de l'activité de *C. emini* période 2



Graphe circulaire de l'activité de *F. pyrropus* période 1



Graphe circulaire de l'activité de *F. pyrropus* période 2



ANNEXE 6. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE MOLÉCULES VOLATILES
DE FRUITS

**Etude des composés organiques volatils de fruits
d'espèces arborées tropicales :**
***Pycnanthus angolensis* (Welw.) Warb. et
Staudtia kamerunensis Warb.**

NOTE LIMINAIRE

La présente note aborde divers points relatifs à l'étude de molécules volatiles libérées par les fruits mûrs de deux espèces arbustives tropicales (*P. angolensis* (Welw.) Warb. et *S. kamerunensis* Warb.). Dans un premier temps, la technique analytique utilisée et ses contours spécifiques sont décrits, ensuite les résultats analytiques sont présentés de manière exhaustive. Les essais réalisés, bien que très représentatifs, doivent cependant être considérés comme préliminaires et ce, pour deux raisons essentielles :

- a) Les méthodologies appliquées, aussi robustes soient-elles, n'ont pas fait l'objet de validations analytiques quantitatives rigoureuses. Néanmoins les résultats obtenus ont été jugés fiables du fait de la qualité des informations récoltées
- b) Les diverses mesures n'ont été effectuées qu'en double. Les données récoltées ne peuvent donc pas être moyennées. Seul un échantillonnage plus important pourra rendre compte d'une réelle variabilité biologique pour autant que des essais soient répétés sur des prélèvements de fruits au même stade de maturité.

Au stade actuel des investigations, les données rassemblées ont donc une portée « indicative » mais significative et permettent l'élaboration de conclusions scientifiquement très bien étayées.

1. DESCRIPTION MÉTHODOLOGIQUE

L'étude de composés organiques volatils (ci-après dénommés VOCs pour *Volatile Organic Compounds*) est rendue possible par la mise en œuvre, en deux temps, de procédures analytiques essentiellement complémentaires. Elles sont décrites ci-dessous, cependant, avant tout, il s'agit de justifier concrètement les choix méthodologiques qui ont été consentis.

L'analyse des « effluves, arômes et parfums » est rendue possible – et souvent automatisable – via des techniques robustes, fiables et largement valorisées. Elle est systématiquement constituée de deux étapes essentielles : l'échantillonnage des VOCs puis la séparation des constituants assortie d'une identification et d'une quantification. Pour assurer cette seconde étape, le recours à l'analyse chromatographique en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GCMS – *Gas Chromatography Mass Spectrometry*) offre des performances inégalées.

1.1 ECHANTILLONNAGE DES VOCs

De nombreuses techniques de prélèvement figurent à l'arsenal des moyens d'isolement d'extraits globaux de VOCs issus notamment de matrices végétales. Chacune possède ses performances et exigences propres, aucune n'étant totalement parfaite. A titre d'exemple, les techniques classiques d'entraînement par la vapeur d'eau peuvent conduire à la formation d'artéfacts issus de réactions « parasites » qui engendrent des modifications chimiques des composés dues aux effets combinés de l'eau et de la température. Un compromis s'impose donc toujours. Dans le cas présent, le recours au prélèvement par SPME (*Solid Phase Micro-Extraction*) est la méthode de choix car elle présente des performances inégalées incluant :

1. Une excellente répétabilité
2. Une grande souplesse de mise en œuvre
3. La possibilité de travailler sur échantillons intacts et non broyés prévenant de ce fait toute libération de VOCs issus de réactions biochimiques liées à la mise en contact enzyme-substrat via le broyage des tissus ou l'exposition favorisée des échantillons aux agents de dégradation chimique (oxygène) du fait de l'augmentation de leur surface spécifique
4. La SPME est robuste mais nécessite, normalement divers tests d'orientation notamment en ce qui concerne les conditions de mise en œuvre et le choix du type d'adsorbant utilisé. Dans le cas présent, compte tenu du petit nombre d'échantillons, les analyses ont été produites dans des conditions largement éprouvées et qui assurent la fiabilité des résultats sans avoir engagé la procédure dans des tests préliminaires nombreux.
5. Cette technique d'échantillonnage permet de prélever les VOCs contenus dans l'espace de tête c'est-à-dire l'environnement odoriférant direct de l'échantillon contenu dans un récipient inerte en verre. Le « *snapshot* » instantané est très représentatif des effluves perçues car ses constituants ne subissent aucune contrainte (photo)chimique ou thermique, le prélèvement se faisant à la T° où les notes odoriférantes sont perceptibles dans des conditions normales.

Le principe du prélèvement est simple :

- L'échantillon est placé dans un contenant en verre fermé et maintenu à T° constante
- L'aiguille du dispositif SPME est introduite et la fibre d'adsorption est exposée pendant un temps défini et rigoureusement mesuré. Les molécules d'intérêt représentatives des VOCs de l'échantillon s'adsorbent sur la fibre. Une fois le prélèvement effectué, la fibre est rétractée dans l'aiguille qui est retirée
- La troisième étape consiste à introduire l'aiguille dans l'injecteur chauffé du chromatographe en phase gazeuse et à réexposer la fibre qui, alors, libère les VOCs qui sont séparés sur la colonne d'analyse.

Les schémas qui suivent (Figure 28 & Figure 29) résument les opérations. Ils sont adaptés de (Kenne Kemene *et al.*, 2018). Cet article établit en outre un synoptique des techniques utilisées dans l'étude des arômes et effluves constituées de VOCs.

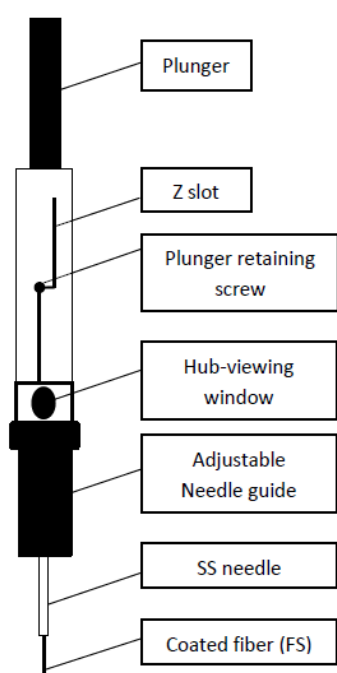


Figure 28 - Modèle SPME

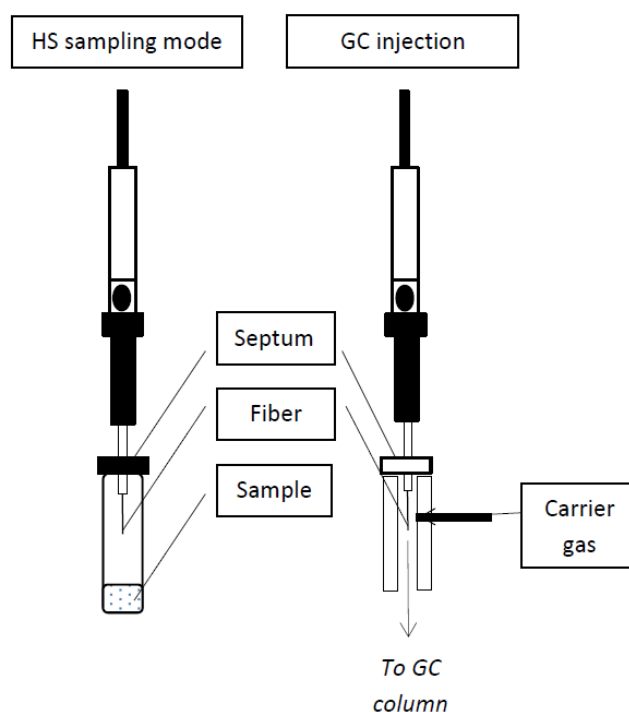


Figure 29 - Principe de l'échantillonnage

Plusieurs types de fibres existent et chacune possède sa spécificité et ses performances. Dans le but de ne pas « cibler » des classes d'analytes particuliers – faussant dès lors le caractère holistique du prélèvement – une fibre « généraliste » et composite a été choisie pour la présente étude prospective. L'expérience corrobore la pertinence de choix.

1.2 L'ANALYSE GCMS

Le plus souvent les arômes, parfums et effluves de toutes sortes sont constitués d'un nombre très important de molécules dont la séparation en vue d'une identification/quantification constitue un réel challenge. L'outil le plus performant est sans conteste la GCMS.

Les VOCs sont pour la plupart suffisamment thermostables que pour être analysés par chromatographie en phase gazeuse, système constitué d'un injecteur relié à une colonne

capillaire de séparation située dans un four à T° programmée et à un détecteur, en l'occurrence un spectromètre de masse (Figure 30, Figure 31).

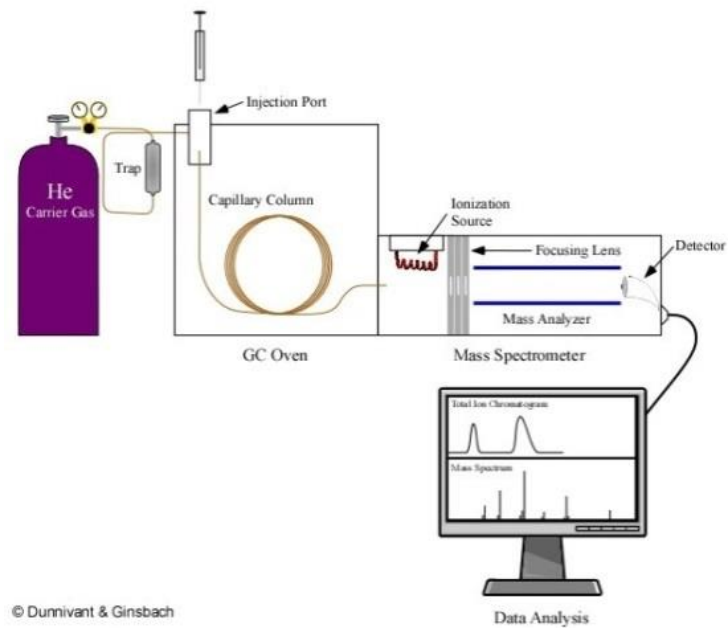


Figure 30 - Schéma descriptif d'un GCMS

©<http://texassodiumazidepoisoning.blogspot.com/2013/01/methods-for-gc-ms.html>



Figure 31 - Présentation de l'appareillage utilisé (Agilent 5973N)

Principe de la séparation chromatographique

L'échantillon est introduit dans un injecteur chauffé et via un processus de « flash vaporization » est aussitôt transféré sous forme gazeuse vers une colonne de séparation (tube en silice fondue de 0.25 mm garni à l'intérieur d'une phase stationnaire, généralement de type polysiloxane) parcourue par un gaz vecteur (Helium à débit constant assurant le rôle de phase mobile). Les molécules d'analytes (les constituants à séparer) sous forme gazeuse parcourent la colonne et se partagent, durant leur parcours , de manière différentielle entre phase stationnaire et phase mobile selon leurs propriétés intrinsèques (principalement leur polarité et leur masse molaire) . La Figure 32 illustre le principe .

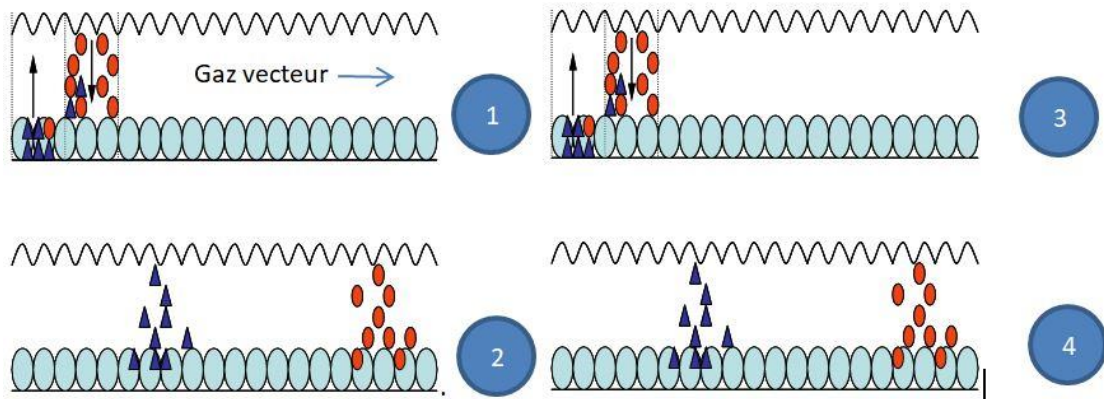


Figure 32 - Schéma de séparation en chromatographie gazeuse

Les VOCs séparés l'un de l'autre arrivent successivement au détecteur de masse qui permet leur identification et leur dosage. Les modalités de mise en œuvre relèvent d'un véritable engineering des séparations qui sort du présent contexte général et qui inclut des approches mathématiques et physico-chimiques très élaborées.

Principe de la Spectrométrie de Masse.

A la sortie de la colonne chromatographique, les molécules séparées, sont introduites dans une source où, par impact avec des électrons (Figure 34), elles sont fragmentées en entités très spécifiques caractérisées chacune par un rapport masse sur charge m/z défini (cf. exemple de la Figure 33).

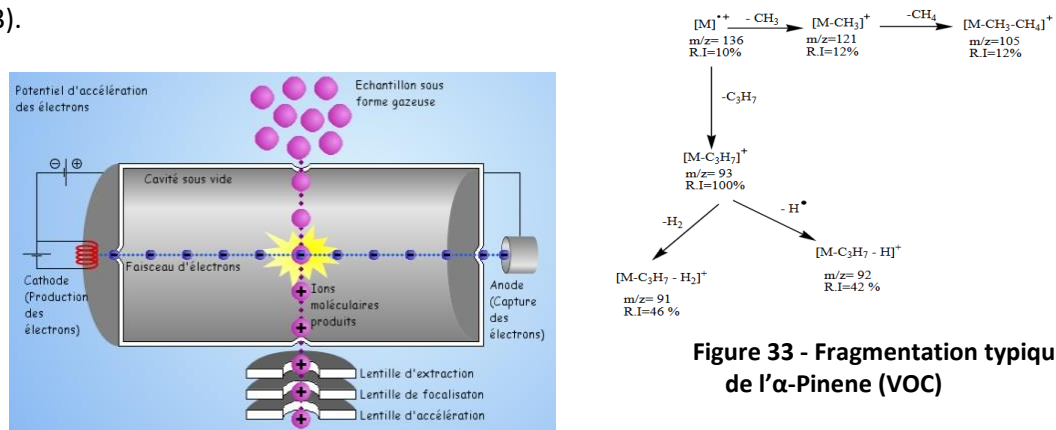


Figure 33 - Fragmentation typique de l' α -Pinene (VOC)

Figure 34 - Principe de l'impact électronique

Comme z vaut le plus souvent 1 dans les spectromètres « bench-top », chaque fragment est donc caractérisé par une masse définie. Les fragments sont séparés via un *quadrupole* (sorte de filtre à fragments) et ensuite détectés... d'où le terme « *spectrométrie de masse* ». Pour chaque molécule

son spectre de masse est enregistré. Il représente un graphique dont l'abscisse correspond aux masses des fragments et l'ordonnée à l'intensité relative enregistrée de ceux-ci (Figure 35).

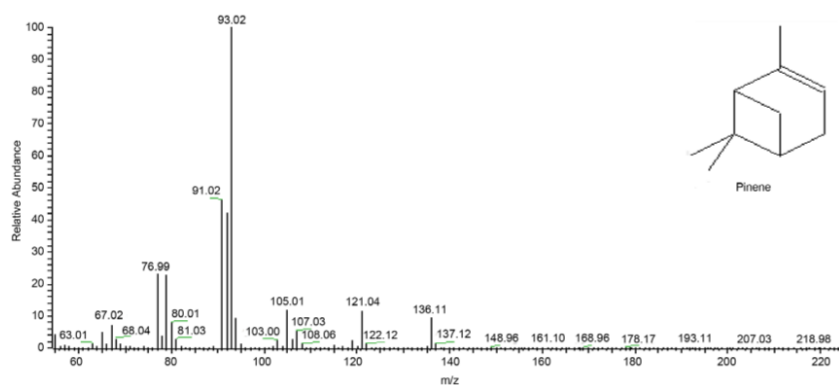


Figure 35 - Spectre de masse caractéristique de l' α -pinène, molécule constitutive des *Pinaceae*

©<http://www.scirp.org/journal/ijamsc>

Les spectres de masse enregistrés via l'analyse sont ensuite comparés avec ceux de bibliothèques spectrales informatisées. Sur base de « pattern recognition » faisant intervenir l'occurrence des fragments et leur intensité, un facteur de similitude est calculé permettant d'évaluer la pertinence de l'identification. Plus la valeur de ce paramètre est élevée, meilleure est la concordance entre spectre enregistré et spectre de référence. Un chromatogramme (TIC = *total ion current*) correspondant à tous les ions enregistrés au cours du temps permet de visualiser le profil en VOCs. L'aire de chaque pic est proportionnelle à la quantité injectée. Dans l'expression des résultats, des proportions (% d'aire) sont établis pour chaque constituant en rapportant l'aire du pic à l'aire totale (*area %*).

2. PROTOCOLE ANALYTIQUE

2.1 PRÉLÈVEMENTS SPME

Les fruits, arrivés sous vide dans un parfait état de conservation macroscopique, de même que les blancs (emballages vides) ont été placés dans des flacons de verre sovirel de 50 ml fermés. Des fibres de type « non sélectives » constituées de 3 adsorbants différents ont été utilisées en vue des prélèvements : Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) Supelco. Elles ont été exposées 30 min à 25°C. Pour éviter toute contamination croisée, des fibres différentes ont été utilisées pour les deux types de fruits étudiés.

2.2 ANALYSE GCMS

Les conditions analytiques ont été fixées selon une paramétrisation qui s'est d'emblée révélée excellente car elle conduit à une séparation parfaite des VOCs en un temps d'analyse optimal. Elles sont définies comme suit :

- GCMS Agilent 5973N équipé d'un injecteur split :splitless à 250°C
- Colonne CPG HP-5 MS (5% Phenyl-dimethylsiloxane) 30 m x 0.25 mm, df = 0.25 µm
- Conditions de programmation ; 40°C (1min) puis programmation à 10°C/min jusqu'à 250°C puis à 30°C jusqu'à 280°C. Gaz vecteur : He 1.2 ml/min.
- MS : ionisation en mode impact électronique (70eV) – scanned mass range : 30 à 300 amu. T° source 180°C – T° interface 200°C.

3. RÉSULTATS

Les VOCs potentiellement libérés par les fruits de *P. angolensis* (Welw.) Warb. et *S. kamerunensis* Warb. ont été recherchés et étudiés exhaustivement au départ de 2 spécimens (1 drupe ouverte, appelée « fruit » et 1 graine arillée appelée « graine » pour chaque espèce). Les échantillons préparés avec soin et transmis sous vide ont été réceptionnés en parfait état au laboratoire, le temps écoulé entre prélèvement et analyse est de 6 jours. Aucune altération des spécimens (moisissure, pertes en eau ...) n'a été constatée. Cependant, en toute vraisemblance, la détection de certaines molécules telles que l'éthanol révèle certainement un début de fermentation.

3.1. STAUDTIA KAMERUNENSIS WARB.

Les résultats obtenus sur la drupe ainsi que sur la graine arillée seule sont repris dans le Tableau 24. Les valeurs des pourcentages des divers constituants sont données à titre indicatif. En effet, l'effectif (n=2) étant réduit, il n'est pas possible d'indiquer une valeur moyenne.



Figure 36 - Fruits et graines de *Staudtia kamerunensis*

©Les Arbres Utiles du Gabon(2015)

La plupart des constituants majoritaires sont détectés dans les deux types d'échantillons de *S. kamerunensis*. Aucune molécule « particulière » ou nouvelle n'est décelée. Cependant des constituants représentant respectivement 3.4 % et 3.80% demeurent non identifiés (n.i) dans les échantillons fruit et graine. Certains sont détectés dans seulement un type d'échantillon. Les profils en VOCs sont très typiques de par la nature des divers constituants et la diversité des familles chimiques (dès lors des origines biochimiques) représentées (alcools, esters, molécules carbonylées hydrocarbures mono- et sesquiterpéniques, molécules à « notes vertes »). La détection de styrène est à considérer prudemment. L'origine naturelle de cette molécule est peu sûre bien que la molécule ait été mise en évidence à l'état de traces dans des brassins particuliers lors de l'élaboration de bières spéciales (Schwarz *et al.*, 2012).

Tableau 24 - Composition des VOCs issus de *Staudtia kamerunensis*

RT	Constituant	Fruit	Graine
2,71	ni	0,22	0,37
2,84	ni	nd	0,57
2,98	Ethanol	4,06	18,01
3,11	ni	0,56	nd
3,27	Methyl acetate	0,30	1,80
3,43	ni	nd	0,67
3,63	ni	nd	0,33
3,71	Butanone 2	0,37	nd
3,85	Ethyl acetate	1,89	15,00
3,98	2-Methyl-1-Propanol	0,28	1,82
4,38	ni	0,20	nd
4,66	2-Pentanone	1,73	0,50
4,81	ni	nd	0,90
4,99	3-Hydroxy-2-butanone	0,87	7,78
5,36	3-Methyl-2-butanol	4,00	8,26
5,42	2-pentanol	1,79	3,98
6,20	ni	nd	2,39
6,38	1,3-Butanediol	nd	2,29
6,46	Hexanal	0,66	nd
7,50	trans-2-Hexenal	0,65	nd
7,57	cis-3-hexenol	1,14	0,44
7,83	1-Hexanol	11,29	0,74
7,93	Isoamylacetate	nd	1,56
8,31	Styrene	2,19	0,84
9,18	alpha-Pinene	1,06	1,17

10,07	beta-Pinene	0,33	1,24
10,16	3-Octanone	0,40	nd
10,25	Myrcene	2,51	2,75
10,38	Ethyl caproate	0,44	nd
10,51	delta-3-Carene	0,37	nd
10,59	alpha-Phellandrene	2,15	0,57
10,83	gamma-Terpinene	0,49	0,35
11,00	p-Cymene	8,05	3,79
11,12	Limonene + Sabinene + 1,8-Cineole	9,50	16,23
11,45	trans-beta-Ocimene	32,35	1,12
11,57	ni	1,02	nd
11,67	gamma-Terpinene	0,17	0,35
12,24	alpha-Terpinolene	nd	0,68
12,95	ni	1,37	nd
13,01	para-Mentha-1,5,8-triene	0,87	0,45
13,20	allo-Ocymene	2,62	0,45
13,53	ni	0,18	nd
13,98	Terpinel-4-ol	nd	nd
14,22	ni	0,26	nd
16,98	alpha-Cubebene	0,22	0,27
17,47	alpha-Copaene	0,20	0,37
18,19	ni	0,18	nd
18,24	beta-Caryophyllene	0,31	nd
18,35	beta-Cubebene	0,35	0,47
19,04	ni	nd	0,77
19,19	Germacrene D	1,01	nd
19,40	alpha-Muurolene	0,41	nd
19,65	alpha-Amorphene	0,29	nd
19,74	delta-Cadinene	0,71	0,72

ni = non identifié

nd = non détecté

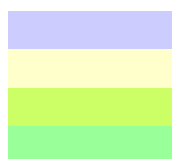
RT = temps de rétention

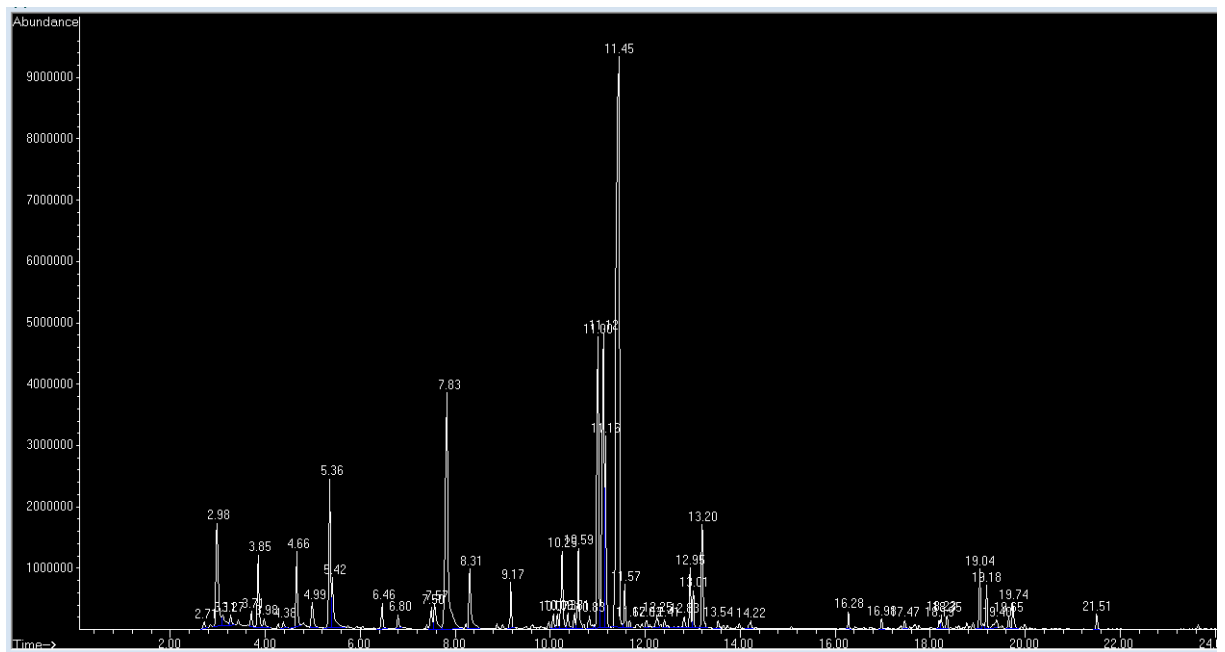
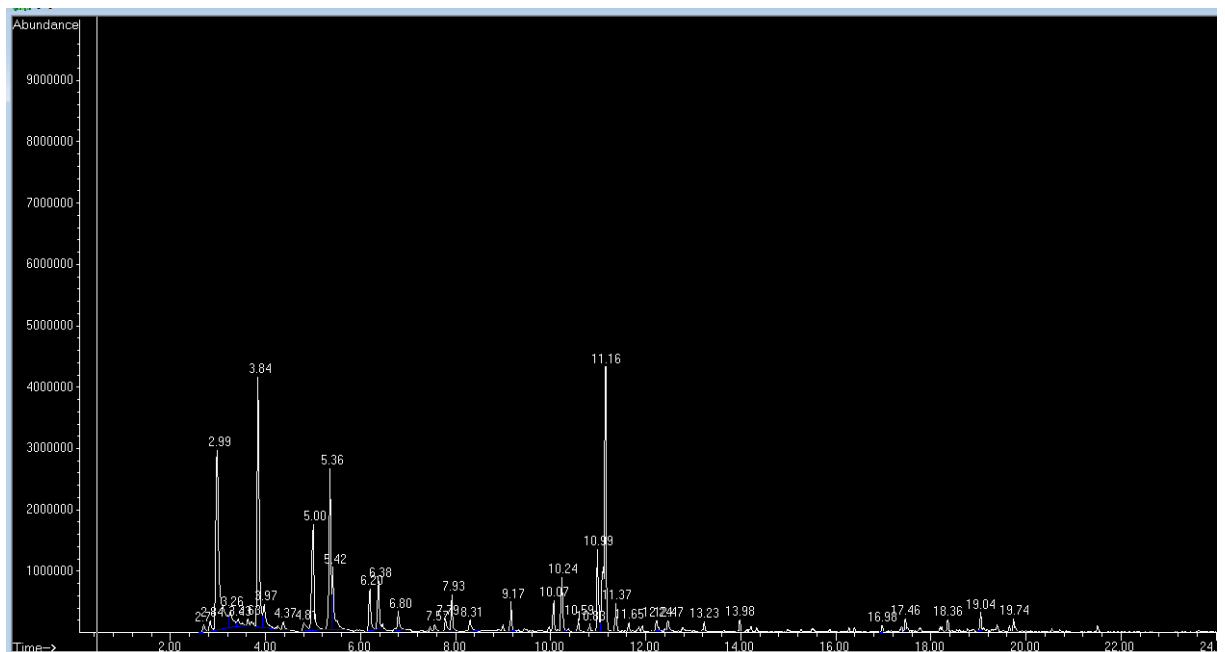
Alcools

Esters

Composés carbonylés

Terpènes



Les profils chromatographiques (TIC) de *Staudtia kamerunensis*Figure 37 - Profil Chromatographique des VOCs issus de *Staudtia kamerunensis* (Fruit)Figure 38 - Profil chromatographique des VOCs issus de *Staudtia kamerunensis* (Graine)

3.2. PYCNANTHUS ANGOLENSIS (WELW.) WARB

Figure 39 - Fruit de *Pycnanthus angolensis*

Le Tableau 25 reprend la composition des effluves odoriférantes de *P. angolensis*. De très nombreuses molécules ont été mises en évidence, avec diverses familles chimiques représentées. Un mélange de limonène-sabinène-1,8-cineole (produits non séparés l'un de l'autre dans les conditions analytiques utilisées) prédomine dans l'échantillon fruit alors que l'éthanol et la 3-Hydroxy-2-butanone sont majoritaires dans l'échantillon de la graine arillée seule. La présence de ces deux dernières molécules indiquent vraisemblablement un début de fermentation alcoolique pour la première et lactique pour la seconde.

Tableau 25 - Composition des VOCs issus de *Pycnanthus angolensis*

RT	Constituant	Fruit	Graine
2,84	ni	0,08	0,72
2,98	Ethanol	0,97	27,64
3,11	ni	0,11	nd
3,26	Methyl Acetate	nd	0,88
3,70	ni	nd	0,86
3,85	Ethyl acetate	0,16	3,25
3,98	2-Methyl-1-Propanol	0,18	0,36
4,27	3-Methylbutanal	nd	0,29
4,37	1-Butanol	nd	0,88
4,89	ni	0,14	1,05
4,99	3-Hydroxy-2-Butanone	nd	13,11
5,10	ni	0,14	nd
5,30	ni	nd	0,81
5,36	3-Methyl-2-butanol	0,31	7,37
5,42	1-Methyl-2-butanol	0,15	3,45
5,50	2-Methyl-2-Butenal	nd	9,27
6,00	2-Methyl-2-Buten-1-ol	nd	1,74
6,19	ni	nd	0,52
6,46	Hexanal	0,25	0,51
6,80	ni	nd	1,65
7,40	Ethyl-3-methylbutyrate	nd	0,35
7,47	Ethyl-2-methylbutyrate	nd	0,32
7,50	trans-2-Hexenal	0,11	0,00
7,57	cis-3-hexenol	0,25	nd
7,83	1-Hexanol	0,41	nd
8,25	2-Heptanone	0,06	0,81

8,31	Styrene	2,46	5,88
8,88	Methylcaproate	nd	1,11
9,18	alpha-Pinene	2,36	0,50
9,52	Camphene	0,00	nd
10,07	beta-Pinene	0,02	nd
10,25	Myrcene	6,71	3,32
10,38	Ethyl caproate	0,11	6,35
10,51	octanal	0,09	nd
10,59	alpha-Phellandrene	0,05	nd
10,83	alpha-Terpinene	0,21	nd
11,00	p-Cymene	0,39	0,42
11,12	Limonene + Sabinene + 1,8-Cineole	55,63	0,59
11,45	trans-beta-Ocimene	0,82	2,72
11,67	gamma-Terpinene	0,34	nd
12,24	alpha-Terpinolene	3,61	nd
12,47	Nonanal	0,16	nd
13,24	ni	0,00	0,67
13,54	p-Menthone	0,12	nd
13,75	iso-Menthone	0,13	nd
13,80	ni	nd	0,34
14,34	Decanal	0,15	0,00
15,11	Pulegone	0,05	nd
15,18	Carvone	0,09	nd
16,75	Aromadendrene	0,08	nd
16,99	alpha-Cubebene	0,31	nd
17,05	ni	0,06	nd
17,37	alpha-Ylangene	0,47	nd
17,50	alpha-Copaene	4,10	1,27
17,70	ni	0,45	nd
17,79	ni	0,16	nd
18,05	ni	0,13	nd
18,07	ni	0,16	nd
18,24	beta-Caryophyllene	4,93	nd
18,35	gamma-Elemene	2,39	nd
18,56	(E)-beta-Farnesene	0,24	nd
18,79	alpha- Humulene	0,59	nd
18,85	Epibicyclosesquiphellandrene	0,06	nd
19,07	ni	1,25	nd
19,12	ni	0,12	nd
19,19	Germacrene D	1,88	nd
19,30	ni	0,45	nd
19,41	ni	1,01	nd
19,53	ni	0,18	nd
19,65	alpha-Amorphene	0,48	nd
19,74	delta-Cadinene	1,53	0,39
19,93	Cadina-1,4-dien	0,15	nd
20,02	ni	0,68	nd
20,13	ni	0,65	nd

20,38	ni	0,57	nd
20,72	ni	0,05	nd
20,86	ni	0,05	nd

tr > 17 min. Hydrocarbures sesquiterpéniques

M=204

ni = non identifié

nd = non détecté

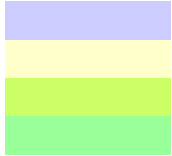
RT = temps de rétention

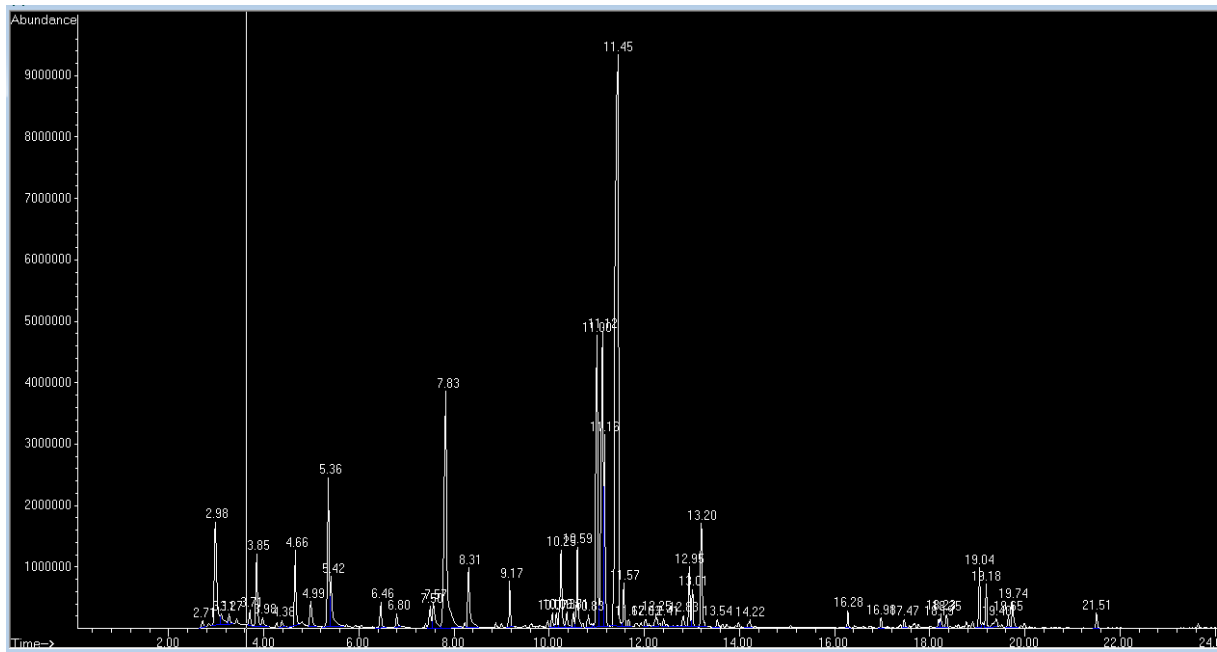
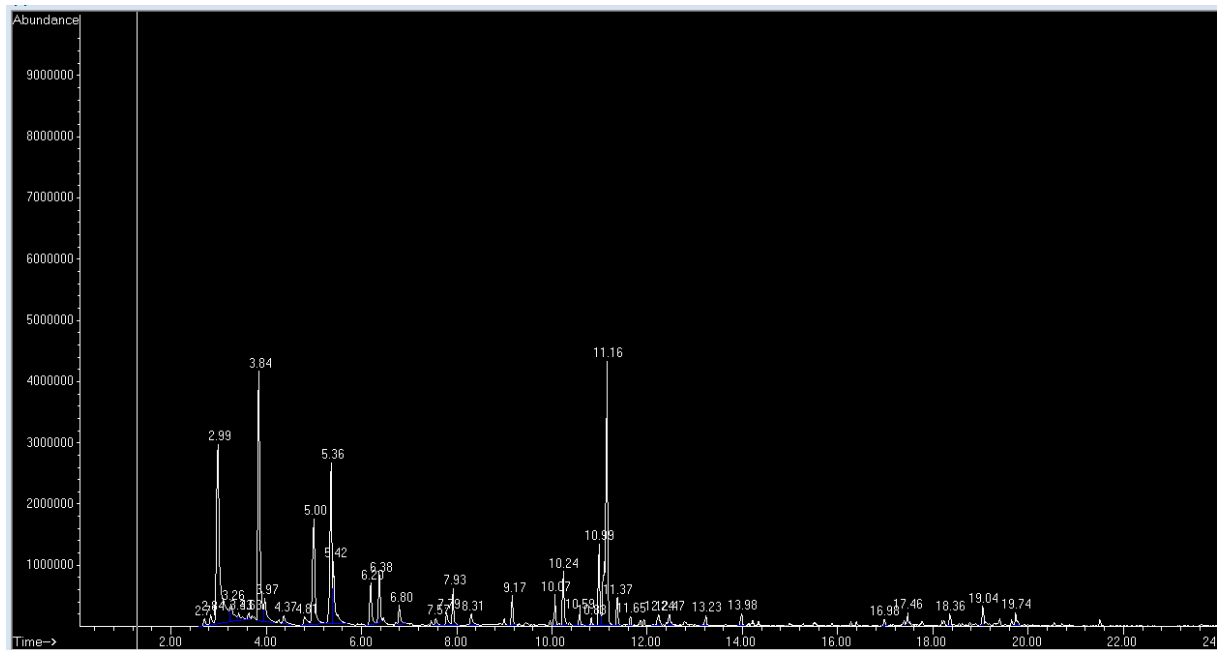
Alcools

Esters

Composés carbonylés

Terpènes



Les profils chromatographiques (TIC) de *Pycnanthus angolensis*Figure 40 - Profil Chromatographique des VOCs issus de *Pycnanthus angolensis* (Fruit)Figure 41 - Profil Chromatographique des VOCs issus de *Pycnanthus angolensis* (Graine)

4. CONCLUSIONS

Les présentes investigations montrent de manière indubitable que les deux fruits étudiés présentent des effluves très caractéristiques de par leur composition moléculaire très particulière. Il est dès lors évident que les effluves libérées par ce type de produit est un signal évident vis-à-vis d'organismes vivants (attractif et/ou répulsif en fonction des concentrations). Les sémiochimiques jouent en effet un rôle dans de nombreux processus comportementaux dans tous les règnes du monde vivant. Il faut cependant garder à l'esprit un certain nombre de contingences particulières :

1. Le délai de plus de 140h entre l'échantillonnage au Cameroun et l'analyse proprement dite ne met pas l'analyste à l'abri d'un début de fermentation liée à la charge microbiologique en surface des fruits prélevés (cf. *supra*).
2. L'occurrence de molécules particulières en plus forte proportion ne signifie pas *de facto* que ce sont ces dernières qui possèdent l'effet signal le plus marqué. Tout dépend en effet du « *threshold* » de chaque produit (teneur minimale dans l'air permettant leur perception). Dès lors, il s'avère parfois que des molécules présentes à l'état de trace ont un impact olfactif prédominant. C'est notamment le cas de pyrazines libérées par la coccinelle *Harmonia axyridis* qui, par simple contact avec les raisins confère un défaut organoleptique majeur aux vins qui sont élaborés au départ de grappes contaminées (Botezatu & Pickering, 2010).
3. Dans le cas présent, il semble vraisemblable que le profil global en VOCs contribue aux propriétés olfactives. La complexité des mélanges de constituants en est une indication car il est difficile de concevoir un effet majeur d'une molécule alors que celle-ci est « noyée » dans une série d'autres.
4. La quantification rigoureuse (détermination des teneurs réelles de chaque produit) est importante mais sort du cadre de cette investigation à portée indicative et nécessite une méthodologie validée beaucoup plus complexe et contraignante. De plus, un échantillonnage plus complet mériterait d'être envisagé en vue de répéter les tests et d'asseoir les investigations par des valeurs moyennes assorties de leur écart-type. De plus, il serait judicieux de vérifier les identifications par la mesure d'indices de rétention linéaires et par la co-injection de références ce qui n'a pas été possible dans l'étude dont il est question ci-dessus.
5. Les résultats sont très originaux et pourraient, le cas échéant, servir de base à une publication scientifique pour autant que des liens soient indubitablement établis entre les VOCs relargués et un comportement interspécifique particulier.

La méthodologie mise en place, du fait de sa relative simplicité est en plus applicable à tout autre type de fruit, la seule contrainte étant de maintenir l'état de fraîcheur maximum des tissus sans perte significative de leur eau constitutive.

La productivité analytique (« *analytical throughput* ») est garantie, les prélèvements SPME pouvant être très facilement automatisés. Sans conteste il s'agit là également d'un dérivable intéressant de l'investigation menée.

ANNEXE 7 - HISTOGRAMME DES % DE LA SITUATION SPATIALE ET DE L'ÉTAT DES 122 ÉLÉMENTS RETROUVÉS DÉTAILLÉS PAR ESPÈCE

